



FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Rui Manuel Martins Gomes

2º Ciclo de Estudos em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território

Recursos Hídricos Subterrâneos: Inventário, Cartografia SIG, Metodologia e Potencialidades

Caso de Estudo: Bacia Hidrográfica da Ribeira de Sá, Sardoura, Castelo de Paiva

2014

Orientador: Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes

Classificação: Ciclo de estudos:
Dissertação:

Versão definitiva

AGRADECIMENTOS

A apresentação desta dissertação de mestrado é o produto de um trabalho coletivo e colaborativo em que os diversos intervenientes foram incansáveis.

Expresso o meu agradecimento pela disponibilidade e acompanhamento ao Orientador Científico Professor Doutor António Alberto Gomes, que pela exigência e organização me “obrigou” a primar pelo rigor e a refletir sobre as opções tomadas bem como pela orientação dada, traçando, com sabedoria e pragmatismo, a metodologia de trabalho a seguir. Para além de orientador, um verdadeiro amigo, preocupado, sempre pronto a ouvir e a incentivar.

Aos docentes do curso de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, em especial ao Professor Doutor José Teixeira, pela amizade que se foi construindo, partilha de conhecimentos teórico-práticos e pelo apoio incondicional ao desenvolvimento desta dissertação.

Ao Presidente da Câmara Municipal de Castelo de Paiva, Dr. Gonçalo Rocha, pelo interesse nos trabalhos realizados, pelas sugestões e palavras de incentivo.

Aos amigos e colegas de Mestrado, em especial Carlos Gonçalves e Luís Sousa, pelo apoio, partilha de experiências, conhecimentos e espírito de entreaajuda.

Aos amigos José Luís Mendes, Manuel Joaquim Lopes e José Costa Martins pelo acompanhamento, companheirismo, amizade e apoio de longos dias de trabalho de campo e na ajuda preciosa na prospeção de nascentes.

A todos os meus amigos pela amizade e apoio, sobretudo ao Paulo Martins e Alexandre Rocha que colaboraram para a valorização da presente dissertação.

A todos os proprietários de nascentes, em especial ao Sr. João Silva pela disponibilidade em me acompanhar e permissão em realizar medições da água e fazer registos nas suas propriedades.

À minha esposa, filho, pais, irmão e sogros, agradeço os estímulos e incentivos constantes, pelas palavras de incentivo e reconhecimento, a dedicação, compreensão e paciência por todos os sacrifícios.

A todos dedico esta dissertação e expresso a minha gratidão.

RESUMO

A água assume-se como um recurso natural fundamental para a sobrevivência da humanidade, pelo que a consideramos um tema crucial de estudo. A presente dissertação compreende uma abordagem multidisciplinar à água subterrânea, centrada nas nascentes. Como área de estudo, investigámos a bacia hidrográfica da Ribeira de Sá, Sardoura, em Castelo de Paiva, pretendendo obter e interpretar padrões na distribuição dos recursos hídricos subterrâneos.

A metodologia aplicada consistiu, numa primeira fase, na pesquisa e recolha de dados bibliográficos e documentais relativos ao tema das águas subterrâneas bem como na análise de cartografia militar das décadas de 1940, 1970 e 1990 referente a informação iconográfica de indicadores de recursos hídricos subterrâneos existentes no concelho de Castelo de Paiva, designadamente, chafarizes ou fontes, poços, tanques, poços com engenho e nascentes. Esta informação foi vetorizada e, paralelamente, realizou-se o pré-processamento de diversa informação *raster* e *vetorial* do concelho de Castelo de Paiva, o qual serviu de apoio à análise da área de estudo. Seguidamente, criou-se uma ficha inventário para ser utilizada em contexto de trabalho de campo, onde se procedeu ao registo das nascentes, com informações sobre localização, condições de acesso, condições hidrogeológicas e hidroclimatológicas, traços geomorfológicos, condições de utilização, entre outras. Numa segunda fase foi criada uma BDE - base de dados espacial (geodatabase), na qual se inseriram os dados recolhidos no trabalho de campo, obtendo-se a representação espacial das nascentes e informações relevantes associadas a cada uma delas. Foram analisados os dados recolhidos e realizado um conjunto de cartografia SIG, o que nos possibilitou uma leitura mais objetiva do objeto de estudo.

O estudo de caso tem como objetivo principal servir de instrumento para o município na gestão destas nascentes a vários níveis: consumo humano, utilização agrícola, proteção florestal, recurso turístico, monitorização das nascentes por entidades públicas e /ou privadas, contribuindo assim, para um melhor ordenamento do território, preservação e proteção deste importante recurso.

Tendo em conta as potencialidades que revestem as nascentes inventariadas e a ruralidade que ainda caracteriza o concelho, criámos um projeto no âmbito de percursos BTT, denominado “Trilho das Nascentes”, com o intuito de atribuir uma maior visibilidade a estes recursos naturais, valorizando a riqueza geológica onde se encontram e a peculiar “arquitetura das minas de água”. Este incremento poderá contribuir para o desenvolvimento económico do concelho, captando o interesse do público que aprecia os temas da Geologia, Ambiente e Desporto.

Palavras-chave: Águas subterrâneas; Nascentes; Inventário; Base de dados espacial; SIG; Planeamento e Ordenamento do território.

ABSTRACT

The water is assumed as a key to the survival of mankind natural resource, so we consider a crucial topic of study. This dissertation comprises a multidisciplinary approach to groundwater, focused on the springs. As study area, it was investigated the watershed of the Ribeira de Sá, Sardoura in Castelo de Paiva, in order to obtain and interpret patterns in the distribution of groundwater resources.

The methodology consisted in a first phase, the search and retrieval of bibliographic and documentary data on the topic of groundwater as well as the analysis of military cartography of the 1940, 1970 and 1990 related to iconographic information from existing indicators of groundwater resources in Castelo de Paiva, namely, fountains, wells, tanks and springs. This information was vectorized and at the same time, we carried out the pre-processing of raster and vector information from Castelo de Paiva, which served to support the analysis of the study area. Next, it was created a inventory sheet for use in the context of fieldwork, where we proceeded to record the sources, with information on location, access conditions, hydrogeological and hidroclimatological conditions, geomorphological features, conditions of use, among others. In a second phase it was created a geodatabase, in which it entered the data collected in the fieldwork, obtaining the spatial representation of the springs and relevant information associated with each of them. Data collected were analyzed and performed a set of GIS mapping, allowing us a more objective reading of the object of study.

The case study aims to serve as an instrument for the municipality in managing these springs at various levels: human consumption, agricultural use, forest protection, tourism resource, monitoring the sources of public and/or private entities, thus contributing to one better planning, preservation and protection of this important resource.

Given the potential lining the inventoried springs and the rural environment that still characterizes the municipality, it was created a project within biking paths, called "Trail of Springs" in order to give greater visibility to these natural resources, valuing geological wealth where they are and the peculiar "architecture of water mines." This increase may contribute to the economic development of the municipality, capturing the interest of the public that appreciates the subjects of Geology, Environment and Sports.

Keywords: Groundwater; Springs; Inventory; Geodatabase; GIS; Planning and Spatial Planning.

ACRÓNIMOS

BDE – Base de Dados Espacial

CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal

ESRI – Environmental Systems Research Institute

GPS – Global Position System

IGEOE – Instituto Geográfico do Exército

IGP – Instituto Geográfico Português

KML/KMZ – Keyhole Markup Language

MDT – Modelo Digital do Terreno

SGBD- Sistema de Gestão de Base de Dados

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	II
ABSTRACT	III
ACRÓNIMOS.....	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	IX
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	2
1.1 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
1.3 ENQUADRAMENTO DO CONCELHO DE CASTELO DE PAIVA	4
1.3.1 Enquadramento geográfico, geológico e geomorfológico.....	4
1.3.2 Enquadramento climatológico e hidrográfico	10
1.4 ENQUADRAMENTO DO TEMA	15
1.4.1 O ciclo hidrológico e as águas subterrâneas.....	15
1.4.2 Distribuição da água no planeta Terra.....	21
1.4.3 Hidrogeologia e contaminação das águas subterrâneas.....	22
CAPÍTULO II.....	25
2 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO.....	26
2.1 BREVE ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	26
2.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA, DOCUMENTAL E CARTOGRÁFICA	27
2.3 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: A BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE SÁ, SARDOURA.....	31
2.4 TRATAMENTO E PRÉ-PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO <i>VETORIAL</i> E <i>RASTER</i>	33
2.5 ELABORAÇÃO DA FICHA DE INVENTÁRIO	36
2.6 TRABALHO DE CAMPO	40
2.6.1 Levantamento de campo dos parâmetros físico-químicos.....	46
2.7 BASE DE DADOS ESPACIAL (GEODATABASE)	47
CAPÍTULO III.....	51
3 RESULTADOS	52

3.1	DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM CASTELO DE PAIVA.....	52
3.2	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO INVENTÁRIO NA ÁREA DE ESTUDO	55
3.2.1	Nascentes inventariadas.....	55
3.2.2	Hipsometria da localização das nascentes	56
3.2.3	Utilização da água proveniente das nascentes.....	58
3.2.4	O contexto geológico da emergência da água	61
3.2.5	Ambiente geomorfológico.....	62
3.2.6	Propriedades organoléticas e caudal.....	63
3.2.7	Temperatura do ar e humidade relativa	64
3.2.8	Análises físico-químicas da água	65
3.2.8.1	Temperatura.....	66
3.2.8.2	PH.....	67
3.2.8.3	Condutividade Elétrica	68
3.3	CRUZAMENTO DOS RESULTADOS DO INVENTÁRIO COM OUTROS PARÂMETROS	71
3.3.1	Geologia	71
3.3.1.1	Litologia / Localização das nascentes	71
3.3.1.2	Unidades geológicas / Localização das nascentes	72
3.3.1.3	Unidades geológicas / Parâmetros físico-químicos	72
3.3.2	Uso do solo / Localização das nascentes	75
3.3.3	Declives / Localização das nascentes	76
3.3.4	Exposições / Localização das Nascentes	77
CAPÍTULO IV.....		79
4	VALORIZAÇÃO DO RECURSO	80
4.1	TRILHOS VERDES BTT	81
4.1.1	Trilho das Vinhas (Teste)	82
4.1.2	Trilho das Nascentes	84
4.1.3	Metodologia de trabalho.....	87
4.1.3.1	Contributo da Base de dados espacial	87
CAPÍTULO V		91
5	CONCLUSÕES.....	92
BIBLIOGRAFIA		94

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA CONCETUAL DA DISSERTAÇÃO.	3
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA. A – EUROPA. B – CIM TÂMEGA E SOUSA, DISTRITO DE AVEIRO. C – FREGUESIAS DO CONCELHO DE CASTELO DE PAIVA. D – ÁREA DE ESTUDO.....	5
FIGURA 3 - ESBOÇO GEOLÓGICO DE CASTELO DE PAIVA (CHAMINÉ & GOMES, 2005), ADAPTADO E REVISTO DE MEDEIROS ET. AL. (1964).....	6
FIGURA 4 - ESBOÇO LITOLÓGICO DA REGIÃO DE CASTELO DE PAIVA – CASTRO DAIRE (SEGUNDO REBELO, 1984). C - VALE DE FRATURA; F- FALHA; A – SEDE DE CONCELHO, B – OUTRAS POVOAÇÕES, C- MARCOS GEODÉSICOS; 1. GRANITÓIDES (VARISCOS); 2. ROCHAS METASSEDIMENTARES (PROTEROZOÍCO SUPERIOR E/OU CÂMBRICO); 3. QUARTZITO ARMORICANO; 4. ROCHAS METASSEDIMENTARES (PALEOZOÍCO MÉDIO-SUPERIOR); 5. DEPÓSITOS DE COBERTURA (PLIO-QUATERNÁRIO).....	7
FIGURA 5 - REDE HIDROGRÁFICA DE CASTELO DE PAIVA (CHAMINÉ & GOMES, 2005).....	9
FIGURA 6 - ESBOÇO GEOMORFOLÓGICO DE CASTELO DE PAIVA (CHAMINÉ & GOMES, 2005).....	10
FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (MM) NO CONCELHO DE CASTELO DE PAIVA, NO PERÍODO 1931-1960, SEGUNDO DAVEAU (1985).	11
FIGURA 8 - PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARDA E ÁREA ENVOLVENTE, ABRANGENDO CASTELO DE PAIVA. ADAPTADO DE MARAFUZ (2011).	12
FIGURA 9 - CICLO DA ÁGUA. ADAPTADO DE GILLY ET. AL. (2012).	16
FIGURA 10 - FLUXOS DE RECARGA E DESCARGA DOS SISTEMAS SUBTERRÂNEOS (SILVA, 2009). ADAPTADO DE CHERNICOFF & WHITNEY (2007).....	17
FIGURA 11 - TIPOLOGIA DOS AQUÍFEROS	18
FIGURA 12 - EFEITOS DOS FUROS EFETUADOS NOS AQUÍFEROS LIVRES E CONFINADOS	19
FIGURA 13 - ZONA SATURADA E ZONA NÃO SATURADA (VADOSA).	20
FIGURA 14 - POROSIDADE E PERMEABILIDADE NOS AQUÍFEROS.....	20
FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DA PROVENIÊNCIA DE ÁGUA NO MUNDO. ADAPTADO DE FETTER (2001).....	21
FIGURA 16 - METODOLOGIA SEGUIDA NO ESTUDO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA DA RIBEIRA DE SÁ, SARDOURA.....	27
FIGURA 17 - ALGUNS DOS LIVROS E JORNAIS CONSULTADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE NASCENTES EXISTENTES NO CONCELHO DE CASTELO DE PAIVA.	28
FIGURA 18 - ALGUNS EXEMPLOS DE FONTES, FONTANÁRIOS E CHAFARIZES IDENTIFICADOS NO LIVRO “TERRAS AO LÉU” (MONTERREY, 1997).....	28
FIGURA 19 – REGISTOS ALUSIVOS A NASCENTES ENCONTRADOS NA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA NO JORNAL “O PEJÃO” MAIO DE 1956.....	29
FIGURA 20 – LOCALIZAÇÃO DE INDICADORES DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS ASSINALADOS NA CARTOGRAFIA MILITAR DAS DÉCADAS DE 1940, 1970 E 1990, E INVENTÁRIO DE 2014. ÁREA-AMOSTRA: VALE DA RIBEIRA DE SÁ.....	30
FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS INDICADORES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PROVENIENTES DA CARTOGRAFIA MILITAR DAS DÉCADAS DE 1940, 1970 E 1990 NO CONCELHO DE CASTELO DE PAIVA.	31
FIGURA 22 – A) ÁREA JUNTO DA NASCENTE DA RIBEIRA DE SÁ EM SÃO PEDRO DO PARAÍSO. B) LOCALIDADE ONDE DESAGUA A RIBEIRA DE SÁ, LUGAR DE RATA, SARDOURA.	32
FIGURA 23 - PERFIS TOPOGRÁFICOS ILUSTRATIVOS DO RELEVO DA ÁREA DE ESTUDO.	33
FIGURA 24 - ESQUEMA METODOLÓGICO DA CONSTRUÇÃO DO MNE – MODELO NUMÉRICO DE ELEVAÇÃO E DA EXTRAÇÃO DA INFORMAÇÃO RELEVANTE DO CONCELHO PARA ANÁLISE DA ÁREA DE ESTUDO.	35
FIGURA 25 - ESQUEMA DA FICHA DE INVENTÁRIO E RESPECTIVOS ATRIBUTOS.....	37
FIGURA 26 - FICHA DE INVENTÁRIO UTILIZADA DURANTE O TRABALHO DE CAMPO. ADAPTADO DE CARVALHO (2006)	39
FIGURA 27 – ASPETOS DO TRABALHO DE CAMPO: A) JUNTO À NASCENTE DA PIA DAS POMBAS NO MONTE DE SÃO GENS; B) PAISAGEM QUE SE AVISTA PARA O MONTE DE SÃO PAÚL, EVIDENCIANDO OS AFLORAMENTOS QUARTZÍTICOS; C) OBSERVAÇÕES E ANÁLISE DE CAMPO; D) NASCENTE DA MINA DE ÁGUA DA VOLTA DO PEREIRO, OBSERVANDO- SE O XISTO.	40
FIGURA 28 – ALGUNS EXEMPLOS DAS NASCENTES INVENTARIADAS: A) NASCENTE DA MINA DA RANHA DE CIMA. B) NASCENTE DA MINA DA FONTE ANTIGA. C) NASCENTE DA FONTE ANTIGA DE CARCAVELOS. D) NASCENTES DA MINA DO BACELO DE CIMA. E) NASCENTE DA MINA DE CERQUEIRA DIREITA. F) NASCENTE DA MINA DO VALE DO SOGO. G) NASCENTE DA MINA DO SOUTO FONTELA. H) FONTANÁRIO DE SÁ. I) NASCENTE DA MINA DAS PONTAS FRONHAS. J) NASCENTE DA MINA DA CASA DA PORTELA. K) DIA CHUVOSO DE TRABALHO DE CAMPO.	

L) NASCENTE DO FONTANÁRIO DA RATA. M) PONTO DE PESQUISA A 128METROS NA ENTRADA DA MINA DO PINHEIRAL CARCAVELOS. N) INTERIOR DA MINA DOS VIVEIROS DIREITA DIVIDIDO EM DUAS GALERIAS. O) NASCENTE DA MINA DA TILEIRA DA TAPADA. P) UTILIZAÇÃO DA BÚSSOLA EM TRABALHO DE CAMPO.	41
FIGURA 29 - ESQUEMA RELATIVO ÀS TAREFAS EXECUTADAS NA PREPARAÇÃO E DURANTE O TRABALHO DE CAMPO. .	42
FIGURA 30 – GPS UTILIZADO NO TRABALHO DE CAMPO: A) GPSMAP 62S DA GARMIN. B) REGISTOS GPS DOS DIAS DE LEVANTAMENTO DE CAMPO NA ÁREA DE ESTUDO.	43
FIGURA 31 - CONSULTA DE DADOS METEOROLÓGICOS. A) TEMPERATURA DO AR E B) HUMIDADE RELATIVA PARA UM DOS DIAS DE TRABALHO DE CAMPO “16 DE FEVEREIRO DE 2014” NO SITE DO INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA PARA A ESTAÇÃO DE AROUCA. HTTPS://WWW.IPMA.PT/PT/OTEMPO/OBS.SUPERFICIE.GRAFICA/OBSHORARIOSHISTORICO.JSP	44
FIGURA 32 - RECIPIENTES UTILIZADOS NA MEDIÇÃO DO CAUDAL, ½L, 1L E 5L.....	44
FIGURA 33 - DIFERENTES CONTEXTOS DE MEDIÇÕES DE CAUDAL: A) NA NASCENTE DA MINA DAS VINHAS. B) NA NASCENTE DA MINA DA CASA DO SR. BARBOSA – DUAS BICAS PARA CONSORTES. C) NA NASCENTE DA MINA DO QUINTAL DO PEDREGAL.	45
FIGURA 34 - MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS: A) INSTRUMENTO HANNA MODELO HI 9811-5. B) UTILIZAÇÃO DO APARELHO NA MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA.	46
FIGURA 35 – ESTRUTURA ELABORADA NO ARCCATALOG DA ESRI®, COM AS <i>FEATURE DATASET</i> E AS <i>FEATURE DATA CLASS</i> DOS TEMAS CRIADOS.	48
FIGURA 36 – FUNCIONALIDADE DA BDE COMO PLATAFORMA DE TRABALHO E ANÁLISE DE DADOS.	50
FIGURA 37 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS INDICADORES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM CASTELO DE PAIVA. .	54
FIGURA 38 – MAPA DAS NASCENTES INVENTARIADAS NA ÁREA DE ESTUDO.....	56
FIGURA 39 - LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES POR CLASSES HIPOMÉTRICAS.....	57
FIGURA 40 - A) NASCENTE DA MINA DE VALE DE MARIA ESQUERDA EM SABARIZ. B) AO FUNDO, TANQUE QUE ARMAZENA A ÁGUA DA NASCENTE. C) OBSERVAÇÃO DO CAUDAL DA NASCENTE A 09/03/2014 PELAS 8:15. D) PERCURSO DA ÁGUA PROVENIENTE DO TANQUE DIRIGIDA AOS TERRENOS AGRÍCOLAS (LEVADA DE APROXIMADAMENTE 1KM).	59
FIGURA 41 - INFORMAÇÃO COLOCADA JUNTO AOS FONTANÁRIOS MUNICIPAIS.	60
FIGURA 42 - UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DAS NASCENTES.	60
FIGURA 43 – O CONTEXTO GEOLÓGICO DA EMERGÊNCIA DA ÁGUA DAS NASCENTES.	61
FIGURA 44 - GEOMORFOLOGIA DOS LOCAIS DAS NASCENTES.....	62
FIGURA 45 – CAUDAL DAS NASCENTES.....	63
FIGURA 46 - TEMPERATURA DA ÁGUA DAS NASCENTES.....	66
FIGURA 47 – PH DA ÁGUA DAS NASCENTES.	67
FIGURA 48 - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (MS/CM) DA ÁGUA DAS NASCENTES POR CLASSES.	69
FIGURA 49 – DEMONSTRAÇÃO DE ALGUNS ASPETOS DAS NASCENTES INVENTARIADAS: 1)VALE DA PORCA DE CIMA. 2) SOUTO FONTELA. 3) POÇA DAS POMBAS. 4) CAMPO DE BAIXO.....	70
FIGURA 50 – NASCENTES POR LITOLOGIA E RESPECTIVA ÁREA OCUPADA NA ÁREA DE ESTUDO.....	71
FIGURA 51 – UNIDADES GEOLÓGICAS / PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS DA ÁGUA A) TEMPERATURA DA ÁGUA. B) PH. C) CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.	74
FIGURA 52 – USO DO SOLO DA LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES E RESPECTIVA ÁREA OCUPADA. (COS NÍVEL 3).	75
FIGURA 53 - DECLIVES DA LOCALIZAÇÃO DE NASCENTES E ÁREAS OCUPADAS.....	77
FIGURA 54 - EXPOSIÇÕES SOLARES DAS NASCENTES E RESPECTIVAS ÁREAS OCUPADAS.	78
FIGURA 55 - LOGÓTIPO CRIADO PARA PROMOÇÃO TURÍSTICA DOS TRILHOS VERDES BTT.....	81
FIGURA 56 - IDENTIFICAÇÃO DO PERCURSO TRILHO DAS VINHAS E RESPECTIVOS PONTOS DE SINALÉTICA.....	82
FIGURA 57 - A) SINALÉTICA INÉDITA CONCEBIDA PARA O PROJETO. B) APLICABILIDADE DA SINALÉTICA.	83
FIGURA 58 – PERCURSO BTT COM OS PONTOS DE INTERESSE PARA OS PRATICANTES.....	83
FIGURA 59 - CARTOGRAFIA DO "TRILHO DAS NASCENTES".	85
FIGURA 60 - VISTA PANORÂMICA DO ALTO DE Sº PAÚL PARA O ALTO DE Sº GENS E VALE DA RIBEIRA DE SÁ.	86
FIGURA 61 - VISTA PANORÂMICA DO ALTO DE Sº GENS PARA SARDOURA, Sº MARTINHO E RIO DOURO.	86
FIGURA 62 – EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA BDE EM FORMATO KML/KMZ NO PROJETO “TRILHO DAS NASCENTES”. .	89

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - BASES CARTOGRÁFICAS UTILIZADAS NO PROJETO.....	34
TABELA 2 - CÓDIGOS PARA DISTRITO, CONCELHO E RESPECTIVAS FREGUESIAS. ADAPTADO DE IGEOE, CAOP (2014).	38
TABELA 3 – PONTOS INDICADORES DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM CASTELO DE PAIVA CONFORME O LEVANTAMENTO DE CAMPO DAS DÉCADAS DE 1940, 1970 E 1990.	52
TABELA 4 - VALORES DE TEMPERATURA DO AR, OBTIDOS NO <i>SITE</i> DO INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA PARA A ESTAÇÃO DE AROUCA HTTPS://WWW.IPMA.PT/PT/OTEMPO/OBS.SUPERFICIE.GRAFICA/OBSHORARIOSHISTORICO.JSP	64
TABELA 5 – VALORES DE HUMIDADE RELATIVA OBTIDOS NO <i>SITE</i> DO INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA PARA A ESTAÇÃO DE AROUCA HTTPS://WWW.IPMA.PT/PT/OTEMPO/OBS.SUPERFICIE.GRAFICA/OBSHORARIOSHISTORICO.JSP	65
TABELA 6 - PORCENTAGEM DA ÁREA OCUPADA EM CADA UNIDADE GEOLÓGICA E RESPECTIVA PORCENTAGEM DAS NASCENTES	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - GRÁFICO TERMOPLUVIOMÉTRICO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE AROUCA (MARAFUZ, 2011).....	13
GRÁFICO 2 - BALANÇO HÍDRICO NA BACIA DO ARDA COM BASE NOS VALORES DA ESTAÇÃO DE AROUCA/SERRA DA FREITA, SEGUNDO OS DADOS DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE 1955-1973 (MARAFUZ, 2011).....	14
GRÁFICO 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS INDICADORES DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM CASTELO DE PAIVA CONFORME O LEVANTAMENTO MILITAR DAS DÉCADAS DE 1940, 1970 E 1990.	53
GRÁFICO 4 - PESQUISA DE NASCENTES LOCALIZADAS NA ÁREA DE ESTUDO	55
GRÁFICO 5 - DISPERSÃO DAS NASCENTES POR ALTITUDE.....	58

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A realização deste projeto de investigação de carácter multidisciplinar, pretende obter e interpretar padrões na distribuição do recurso hídrico subterrâneo no concelho de Castelo de Paiva, com enfoque na bacia hidrográfica da Ribeira de Sá, Sardoura.

Neste contexto, o plano de trabalho que norteia a dissertação orienta-se para atingir os seguintes objetivos:

- Identificação e caracterização das nascentes existentes na área de estudo, através de trabalho de campo apoiado numa ficha-inventário e em posterior interpretação da sua distribuição, bem como, na análise de alguns parâmetros hidrogeológicos e físico-químicos.

- Conceção de uma metodologia centrada nas tecnologias de informação geográfica capaz de proporcionar e gerar uma BDE- Base de dados espacial, onde conste a representação espacial das nascentes e as informações relevantes associadas a cada uma delas.

Através da criação do projeto SIG pretende-se:

- Apoiar a tomada de decisões ao nível do planeamento e ordenamento do território municipal, com incidência na sustentabilidade das nascentes enquanto recurso hídrico e sua utilidade para consumo humano, utilização agrícola e proteção florestal, bem como nas suas potencialidades como atração turística (Trilhos BTT) e, conseqüentemente, como um novo fator de incremento à economia local;

- Facilitar a monitorização das nascentes por entidades públicas e/ou privadas.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se estruturada em 5 capítulos. O primeiro capítulo aborda questões introdutórias, designadamente, objetivos da dissertação, estrutura da dissertação, na qual se apresenta uma síntese do encadeamento da dissertação com recurso a um esquema ilustrativo (figura1), a caracterização do concelho de Castelo de Paiva, onde se localiza a área de estudo, e enquadramento do tema, procedendo-se à revisão da literatura sobre o tema da água, com especial enfoque nas águas subterrâneas.

O segundo capítulo tem início com uma breve abordagem metodológica. Seguem-se informações oriundas de pesquisa documental e cartográfica (cartas militares com levantamento de campo das décadas de 1940, 1970 e 1990) relativa à localização de indicadores de recursos

hídricos subterrâneos no concelho de Castelo de Paiva. Posteriormente, é apresentado o pré-processamento de informação *vetorial* e *raster* do concelho e da área de estudo (Ribeira de Sá, Sardoura), o trabalho de campo e os materiais/equipamentos utilizados para a inventariação das nascentes, a BDE, criada com informação proveniente de uma ficha de inventário, representando a informação de campo.

Relativamente ao terceiro capítulo, recorrendo a elementos cartográficos da BDE, procede-se à apresentação e análise dos resultados do inventário bem como ao cruzamento destes com outros parâmetros.

Tendo em conta o trabalho de campo, nomeadamente a observação da “arquitetura das minas de água” e a constatação da riqueza geológica onde as nascentes se localizam, considerámos pertinente direccionar o quarto capítulo para a valorização do recurso (nascentes), evidenciando as suas potencialidades como atração turística – os Trilhos BTT.

Por último, no quinto capítulo, elabora-se uma síntese explicativa dos aspetos mais importantes da dissertação e expõem-se as principais conclusões.



Figura 1 – Esquema concetual da dissertação.

1.3 ENQUADRAMENTO DO CONCELHO DE CASTELO DE PAIVA

1.3.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

Castelo de Paiva é um concelho que se encontra situado na margem esquerda do rio Douro e a, sensivelmente, 50km da cidade do Porto (NW de Portugal). Integra a NUT III do Tâmega, sendo o único concelho da comunidade intermunicipal do Tâmega e Sousa que pertence ao distrito de Aveiro, localizando-se no seu extremo Nordeste.

Em Portugal, o município de Castelo de Paiva é tomado, estatisticamente, como parcela integrante da parte setentrional do país. Contudo, Castelo de Paiva apresenta características que marcam o encontro do Norte com o Centro de Portugal e do litoral com o interior (Ribeiro, 1987). Geograficamente, é limitado a Norte, pelo rio Douro que o separa dos concelhos de Marco de Canaveses, Penafiel e Gondomar (figura 2). A Sul, está separado do concelho de Arouca por uma cordilheira formada pela Serra Alta ou Alto de Santo Adrião, Cerquidelo, Gamarão e Serra da Vala. A Este, encontra-se separado do concelho de Cinfães pelo rio Paiva. A Oeste, está separado do concelho de Gondomar pelo rio Arda, Serra do Cabeço de Sobreiro e o Ribeiro de Areja. O Cabeço de Sobreiro demarca o concelho de Castelo de Paiva de Gondomar, Santa Maria da Feira e Arouca.

O concelho de Castelo de Paiva apresenta uma área de, aproximadamente, 115 km². Com a recente reorganização administrativa do território, o concelho é composto por seis freguesias: Real, Fornos, Santa Maria de Sardoura, São Martinho de Sardoura, União das freguesias de Sobrado e Bairros, e União das freguesias de Raiva, Pedorido e Paraíso.

O concelho de Castelo de Paiva é formado por serranias quartzítico-xistentas e graníticas, entre as regionais naturais da Beira e do Douro Litoral (Chaminé & Gomes, 2005). Situa-se na bacia hidrográfica do rio Douro, entre um conjunto de relevos montanhosos a Este e a as áreas mais aplanadas da plataforma litoral a Ocidente (Rebelo, 1975, 1984). A marginal, a Sul, desenvolve-se a área deprimida de Arouca (com fundo a ca. 300m de altitude) e atravessa o concelho um conjunto de elevações constituídas, fundamentalmente, por rochas quartzíticas que pertencem à megaestrutura que compõe o Anticlinal de Castelo de Paiva (Chaminé & Gomes, 2005).

A região de Castelo de Paiva, do ponto de vista geotectónico, insere-se, em termos da zonação definida para o Maciço Ibérico, na Zona Centro-Ibérica do Terreno Autóctone Ibérico (Ribeiro et. al., 1990).

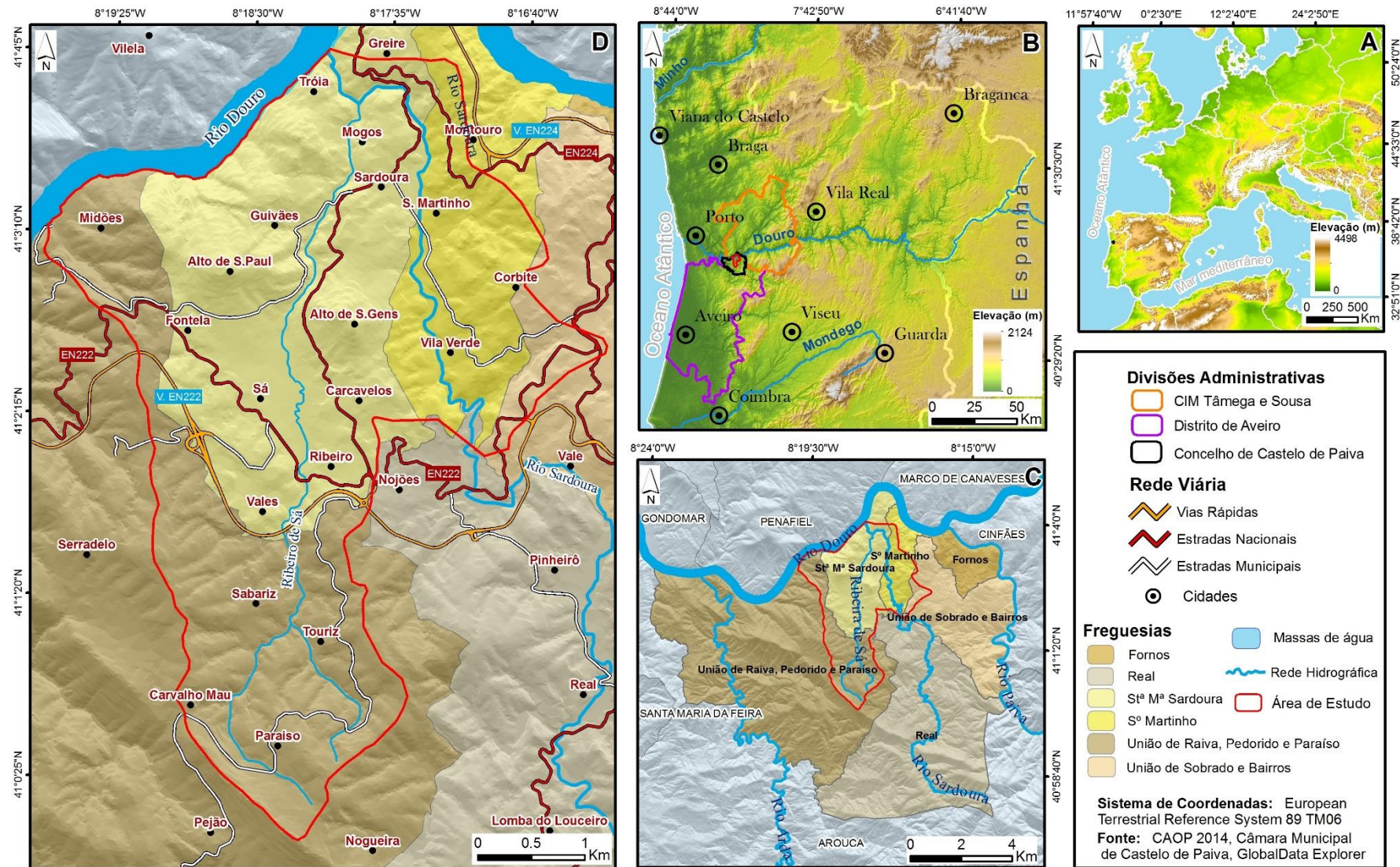


Figura 2 - Localização geográfica. A – Europa. B – CIM Tâmega e Sousa, Distrito de Aveiro. C – Freguesias do concelho de Castelo de Paiva. D – Área de Estudo

A região de Castelo de Paiva é constituída, essencialmente, pelas seguintes unidades geológicas: uma extensa mancha de rochas metassedimentares, incluindo parte do importante megadobramento, de orientação NW-SE, denominada por Anticlinal de Valongo; granitoides relacionados, em geral, com megacisalhamentos dúcteis relacionados com a orogenia varisca (Ferreira et al., 1987). O Anticlinal de Castelo de Paiva encontra-se limitado a oeste pelo megacisalhamento esquerdo, ativo desde as fases precoces da orogenia varisca, e designado por Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão (Lemos de Sousa, 1978; Pinto de Jesus, 2001).

Na região de Castelo de Paiva, para além das rochas metassedimentares e graníticas, regista-se a presença de escassos afloramentos de depósitos de cobertura (aluviões e terraços) de idade quaternária recente (Medeiros et. al., 1964). Como se pode observar na figura 3, ao longo do rio Douro e seus afluentes, existem acumulações de areias e/ou cascalheiras aluviais e no fundo dos vales fluviais acumulam-se depósitos finos e argilosos (Chaminé & Gomes, 2005).

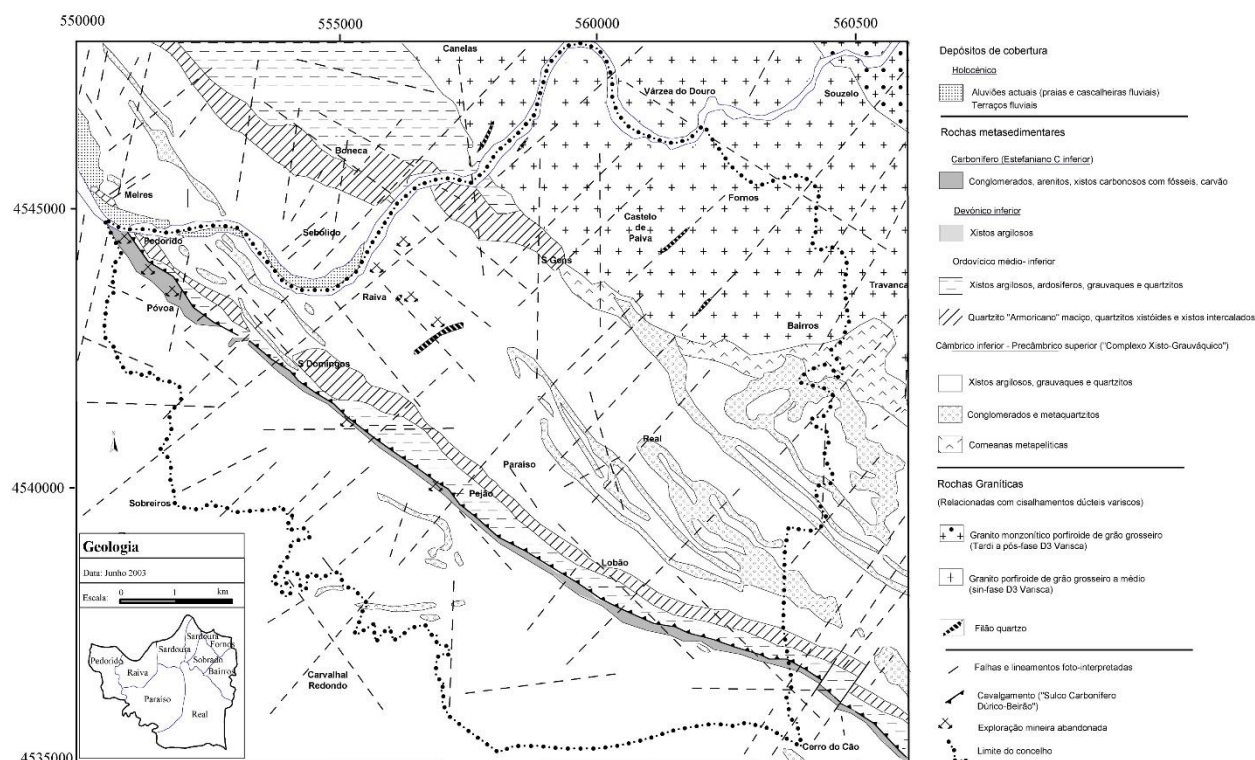


Figura 3 - Esboço geológico de Castelo de Paiva (Chaminé & Gomes, 2005), adaptado e revisto de Medeiros et. al. (1964).

O relevo do concelho de Castelo de Paiva caracteriza-se por um aumento de altitude para o sector Sudoeste e por profundos rasgos formados por vales encaixados dos rios Douro, Paiva e Arda que compõem, respetivamente, os limites Norte, Leste e Oeste. O limite Sul é constituído por uma cortina de elevações onde se encontra o ponto mais elevado do concelho (v.g. do Cerro do Cão, 723m). (Chaminé & Gomes, 2005). Topograficamente, o relevo do concelho é marcado por dois alinhamentos orográficos, grosseiramente paralelos, com uma direção geral NW-SE. O

alinhamento mais setentrional inclui as elevações do Alto de S. Paúl (360m) e Alto de S. Gens (328m). A Sul, surge o conjunto formado pelas elevações de Pedorido (242m), de S. Domingos (v.g. 423m), de Lobão (v.g. 513m) e de S. Adrião (v.g. 647m). Estes relevos dominantes na região relacionam-se com a ocorrência de bancadas quartzíticas subverticalizadas que, por erosão diferencial, originaram cristas rigidamente orientadas. (Chaminé & Gomes, 2005)

As principais unidades geomorfológicas do concelho de Castelo de Paiva são: elevações quartzíticas, colinas e serras xistentas, rechãs e topos aplanados graníticos, e encostas do Douro e Paiva.

As elevações quartzíticas são compostas por dois ramos de elevações essencialmente constituídas por quartzitos, alinhados segundo a direção NW-SE (figura 4), com topos, geralmente, aplanados, exíguos e alongados, cuja altitude dos cimos vai aumentando para SE. As vertentes são, em grande parte, retilíneas e muito íngremes, com valores de declive na ordem dos 20° a 25°. As elevações que compõem o ramo ocidental são formadas por vertentes muito abruptas e extensas (ca. 2km), em grande parte retilíneas, sobretudo as viradas a SW. (Chaminé & Gomes, 2005).

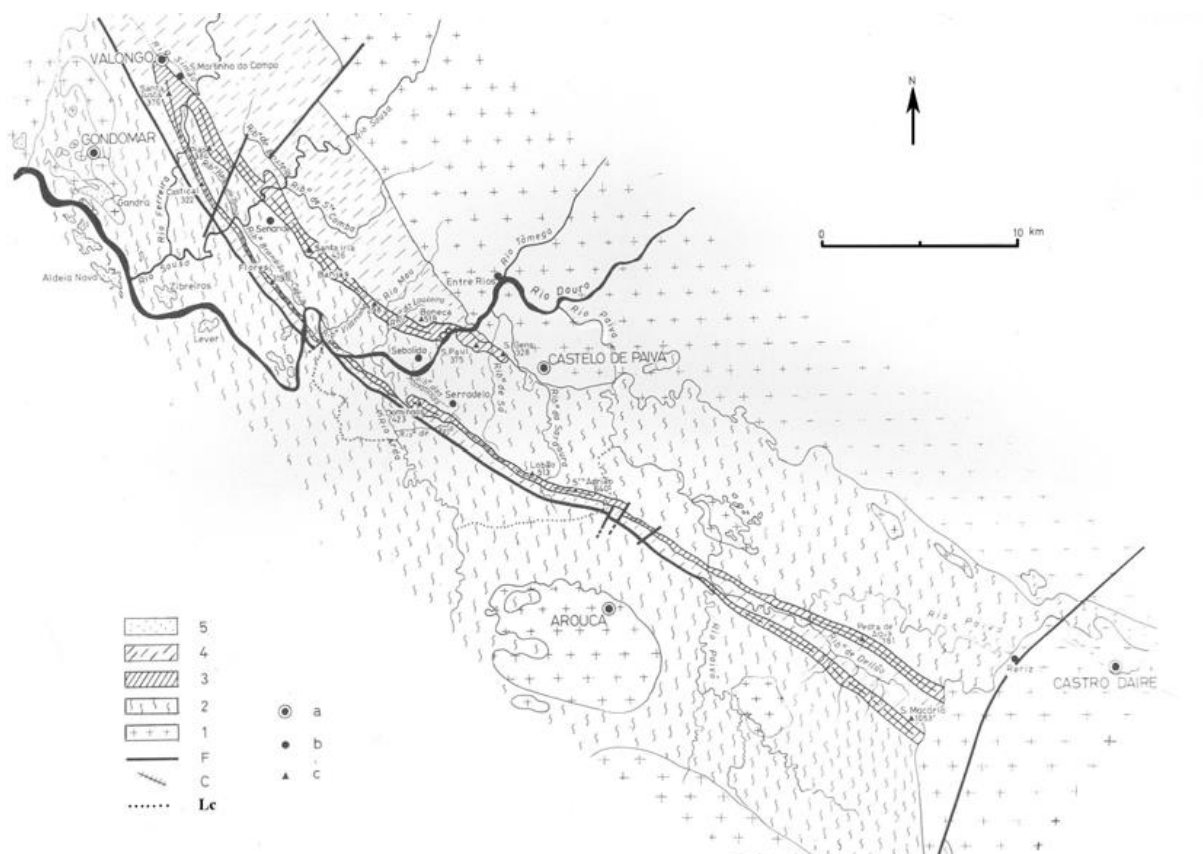


Figura 4 - Esboço litológico da região de Castelo de Paiva – Castro Daire (segundo Rebelo, 1984). C - Vale de fratura; F- Falha; a – sede de Concelho, b – outras povoações, c- marcos geodésicos; 1. Granitóides (variscos); 2. Rochas metassedimentares (Proterozóico superior e/ou Câmbrio); 3. Quartzito Armoricano; 4. Rochas metassedimentares (Paleozóico médio-superior); 5. depósitos de cobertura (Plio-Quaternário).

O retalhamento da crista, a diferença de cota entre os topos aplanados, bem como a inadaptação do rio Arda à estrutura quartzítica (Rebelo, 1984) sugere a existência de falhas de padrão ortogonal (NNE-SSW a NE-SW). A orientação que o vale do rio Douro toma ao romper o ramo quartzítico a Norte, segundo a mesma direção, atesta a continuidade destas falhas para o quadrante NE. O segmento mais alto inicia-se na elevação de S. Domingos (423m) e estende-se pelos topos de Lobão (513m) e S. Adrião (647m). Todo este alinhamento quartzítico é caracterizado por alguns topos exíguos, alongados, aplanados e desnivelados (Chaminé & Gomes, 2005).

As colinas e serras xistentas não apresentam um padrão espacialmente definido, sendo compostas, na sua maioria, por vertentes com fortes declives, do tipo convexas ou convexo-côncavas. Este setor compreende topos aplanados e rechãs com algum significado, em termos de área disponível e do povoamento nele instalado, como são os casos das localidades da Póvoa, Serrinha, Raiva, Sabariz, Folgoso, Almansor, Gilde, Guirela, Galdo, Gondarém e Pedorido. Entre estes insinuam-se os vales muito encaixados de traçado sinuoso dos rios Arda e Sardoura, e seus afluentes (figura 5). Os cursos de água com geometria retilínea referem-se a vales de fratura. Nesta área distingue-se uma subunidade morfológica constituída pelas áreas deprimidas que ocupam os fundos de vale, a cota baixa, como é o caso de S. Antão – Ribeiro, Nojões, Real, Goudia, Vales – Portela, ou a cota alta, como acontece em Serradelo. A maior parte destas áreas deprimidas apresentam uma geometria sinuosa e meandriforme, configurando um fundo de vale aplanado, de largura máxima variável. As vertentes que as limitam são de forte declive. Estas áreas deprimidas são, na maioria dos casos, estranguladas a jusante por um ferrolho de rocha resistente (corneanas metapelíticas ou quartzitos presentes na figura 3), podendo este condicionamento morfológico explicar a possibilidade de ocorrência de inundações a montante. (Chaminé & Gomes, 2005).

O facto de algumas serem percorridas pela Ribeira da Sardoura, curso de água que drena a parte mais húmida do concelho, onde predominam vertentes de forte declive juntamente com a monotonia litológica da bacia, favorecem a rápida escorrência e concentração do escoamento superficial no leito da ribeira (Chaminé & Gomes, 2005).

A unidade morfológica onde se instalam as rechãs e topos aplanados graníticos refere-se à parte mais povoada do concelho. É formada por um modelado de elevações onde se evidenciam vários retalhos aplanados, nomeadamente, Sardoura, Penas, Vista Alegre, Oliveira Reguengo, Espinheiro, Sobrado de Paiva, Fornos, Casal, Ladroeira e Bairros (figura 6).

As rechãs de Fornos e de Bairros estão viradas em anfiteatro para o rio Paiva, mas com exposição solar diferente. A primeira abre-se para Norte e a outra está orientada para Leste. A rechã de Fornos desenha um hemicíclio enquanto a de Bairros ocupa vários patamares das encostas



O padrão da rede hidrográfica é menos denso nestes terrenos, em parte por se tratar de um granito porfiróide, de grão grosseiro, caulinizado e arenizado, mais vulnerável à meteorização química e propiciando, assim, a existência de mantos de alteração granítica francamente arenosos de profundidade razoável. As vertentes nesta área assumem aspetos variados, salientando-se o forte declive e o rígido alinhamento. Estes casos podem corresponder a escarpas de falha, ou seja, zonas geralmente muito fraturadas e esmagadas denunciando características geológico-geotécnicas específicas deste tipo de solos, matizados pela deficiente coesão do material e por

constituírem caminhos preferenciais para a circulação de águas subterrâneas (Chaminé & Gomes, 2005).

Relativamente à unidade morfológica das encostas, o concelho de Castelo de Paiva abrange a margem esquerda dos rios Douro, Paiva e Arda. Estes vales muito encaixados, de vertentes abruptas e declivosas estão sujeitos à erosão na base, particularmente em episódios de cheia extraordinária. Nestas encostas prevalecem as vertentes retilíneas que, por vezes, desenham concavidades. Estas margens côncavas merecem particular atenção por atingirem declives muito acentuados (superiores a 40°) e pela forma que algumas assumem, parecem denunciar a possibilidade de ocorrência de movimentos de vertente. Os segmentos menos íngremes encontram-se nos lugares do Castelo, do Porto de Sardoura, de Gondarém e de Pedorido (Chaminé & Gomes, 2005).

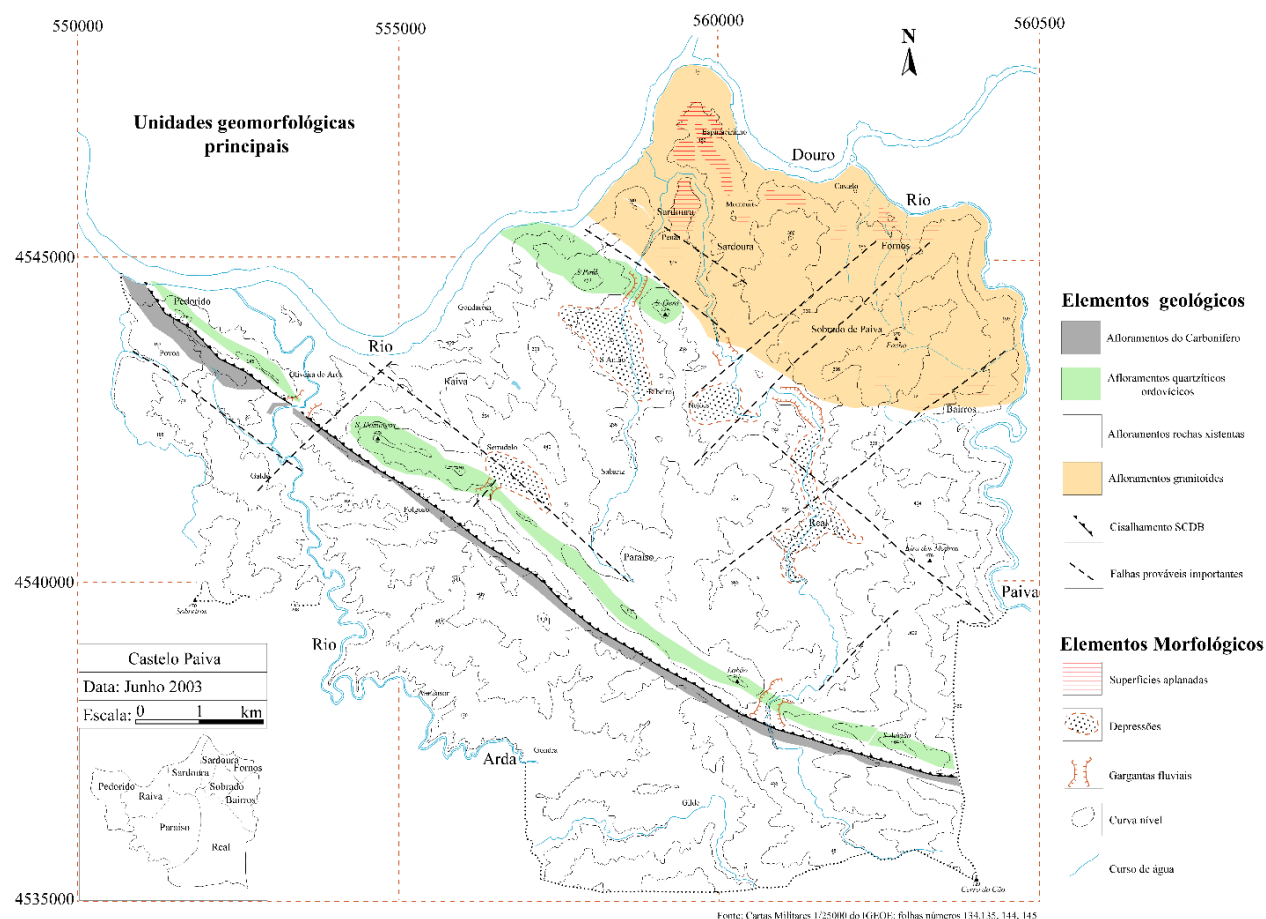


Figura 6 - Esboço Geomorfológico de Castelo de Paiva (Chaminé & Gomes, 2005).

1.3.2 ENQUADRAMENTO CLIMATOLÓGICO E HIDROGRÁFICO

O concelho de Castelo de Paiva inclui-se nas áreas da fachada Atlântica que possuem clima francamente marítimo, de acordo com o quadro provisório das regiões climáticas de Portugal, definido por Daveau (1985). Contudo, nos vales encaixados do rio Douro e Paiva

insinuam-se características de clima continental. A diferenciação térmica local é acentuada, i.e., as baixas mais abrigadas dos ventos atlânticos apresentam já um toque climático continental, particularmente sentidas pela seca e elevadas temperaturas estivais. Este tipo climático é relativamente chuvoso (máximo valor anual de aproximadamente 1600mm) e caracterizado por fortes e persistentes nebulosidades (Daveau, 1985; Ribeiro et al., 1987). Castelo de Paiva situa-se numa área de transição climática em função da disposição das massas de relevo que as delimitam e da abertura dos vales que facilitam a circulação de massas de ar, marítimas ou continentais. Nestes espaços, os dias ou períodos francamente atlânticos alternam segundo um ritmo algo caprichoso com os de matiz continental e as terras baixas são invadidas por nevoeiros frequentes (Ribeiro et. al., 1987).

A distribuição da precipitação é marcada pela disposição orográfica. Os menores valores de precipitação registam-se nos vales do Douro e Paiva (1000-1200mm/ano) e aumentam gradualmente com a altitude até ao valor máximo de aproximadamente 1600mm/ano (Daveau, 1985), que se registam nos topos mais elevados, na parte Sul do concelho (figura 7).

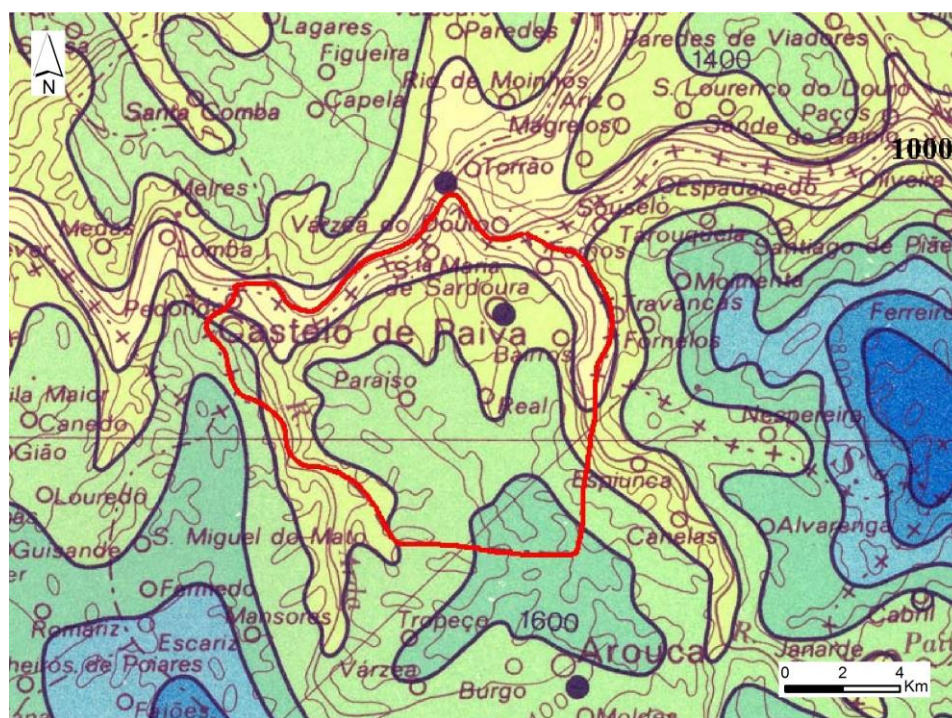


Figura 7 - Distribuição da precipitação média anual (mm) no concelho de Castelo de Paiva, no período 1931-1960, segundo Daveau (1985).

A figura 8 apresenta a distribuição da precipitação na Bacia Hidrográfica do rio Arda e área envolvente, na qual se insere Castelo de Paiva. Visualiza-se um aumento da pluviosidade de Norte para Sul explicado pela proximidade ao maciço da Freita, onde se atinge os 2500mm por

ano. Outras elevações como o planalto de Nabais e os relevos do Cerro do Cão e da Senhora da Mó apresentam valores de precipitação elevados. Por outro lado, é no vale do Douro que se registam os valores mais baixos de precipitação (1000-1200mm). Ao longo do vale encaixado do Arda, também se encontram valores pluviométricos relativamente mais baixos, que variam entre os 1200 e os 1400mm. À medida que nos afastamos do vale, para Este e Oeste, é visível um aumento da precipitação, sendo mais pronunciado na margem esquerda (Marafuz, 2011).

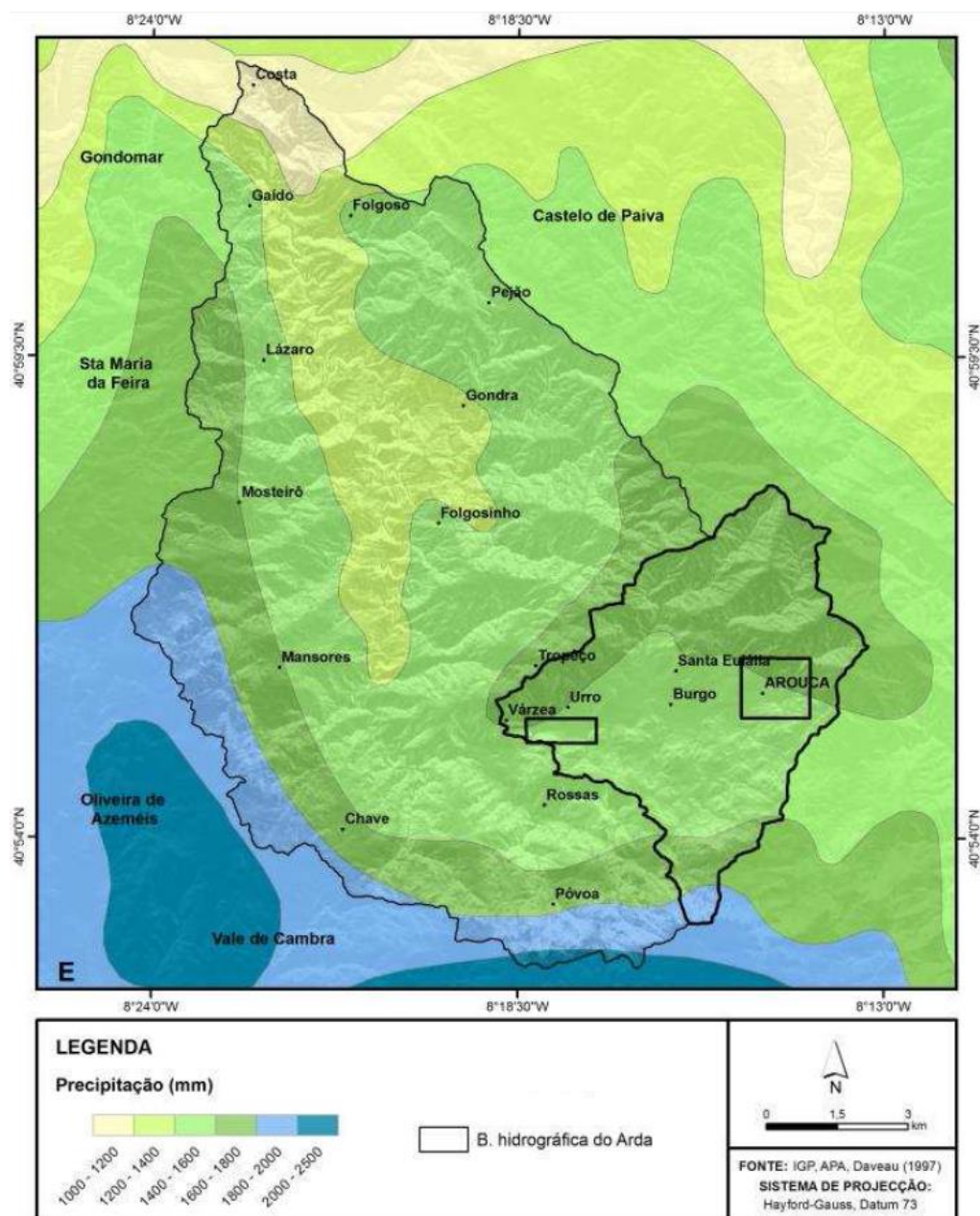


Figura 8 - Precipitação na Bacia hidrográfica do Arda e área envolvente, abrangendo Castelo de Paiva. Adaptado de Marafuz (2011).

A análise do gráfico termopluiométrico relativo à estação de Arouca (a mais próxima de Castelo de Paiva) revela algumas das características enunciadas, nomeadamente as oscilações

sazonais do regime de temperatura e precipitação (gráfico 1). Os meses de outono e inverno são os que registam maiores quantitativos médios de precipitação (na ordem dos 200 a 270mm) e valores menores de temperatura, em especial no mês de dezembro e janeiro com temperaturas médias próximas dos 4°C. Os meses estivais apresentam um comportamento oposto, ou seja, temperaturas médias mais elevadas nos meses de julho e agosto (na ordem dos 17°C) e os valores menores de precipitação, particularmente em julho e agosto (25mm) (Município & FLUP, 2012).

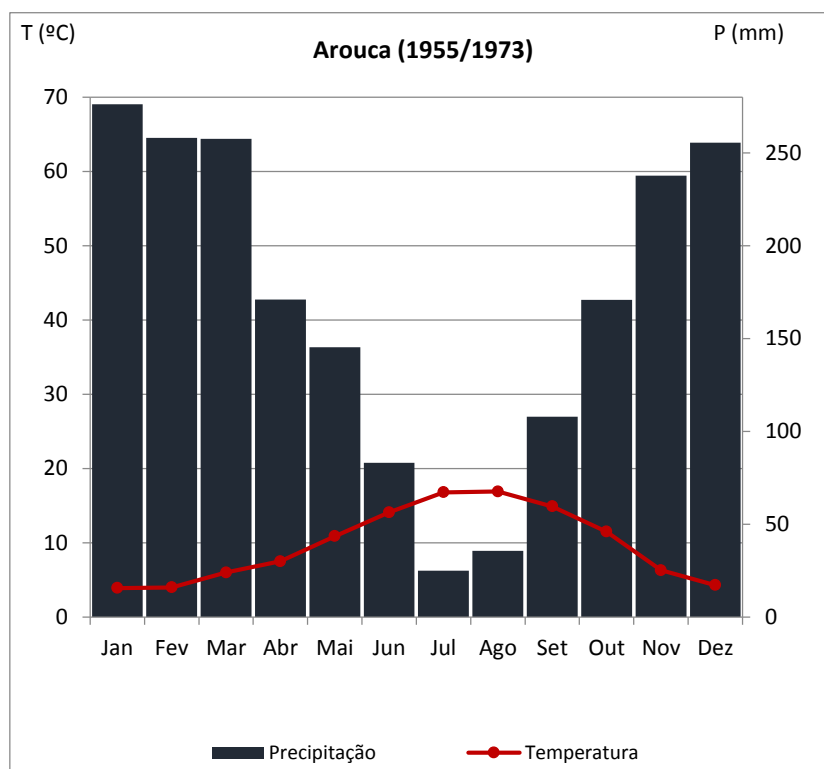


Gráfico 1 - Gráfico termopluviométrico da estação meteorológica de Arouca (Marafuz, 2011).

No gráfico 2 apresenta-se o balanço hidrológico da Bacia do Arda. Recorremos à consulta destes dados por terem como referência, tal como no gráfico termopluviométrico, a estação de Arouca, a mais próxima de Castelo de Paiva. A referida figura mostra que nos meses de julho e agosto a evapotranspiração potencial é superior à que ocorre na realidade, voltando à situação inicial a partir de setembro. Como consequência dos elevados valores de evapotranspiração potencial face aos valores de precipitação e evapotranspiração real, verifica-se um défice hídrico na época estival, mais precisamente em junho, julho e agosto (Marafuz, 2011). Por outro lado, a bacia apresenta um período fundamentalmente húmido, uma vez que de setembro a maio, há um *superavit* hídrico, o que significa que os valores de precipitação são superiores ou iguais à evapotranspiração potencial (Lencastre & Franco, 1984; Marafuz, 2011). Após um longo período chuvoso, admite-se que a capacidade utilizável do solo se encontra plenamente satisfeita, no início

do período seco, em junho. No final do mês de maio a água armazenada no solo é igual a 100 mm. Durante o período seco, há uma perda potencial de água do solo devido à escassez observada. No final do período seco e no começo do período húmido, em setembro, quando a precipitação aumenta e se torna superior à evapotranspiração real, ocorre uma reposição no armazenamento de água. Completada a reposição da capacidade utilizável de água (100 mm) verifica-se de novo um excesso hídrico (Marafuz, 2011).

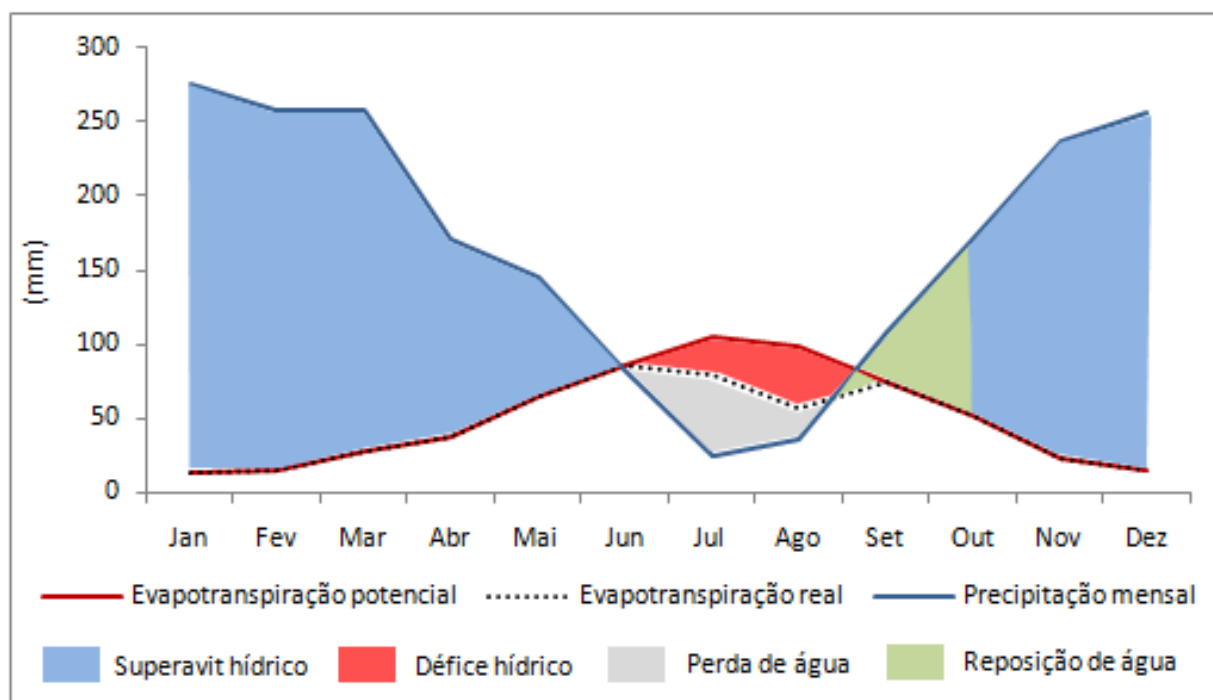


Gráfico 2 - Balanço hídrico na Bacia do Arda com base nos valores da estação de Arouca/Serra da Freita, segundo os dados das normais climatológicas de 1955-1973 (Marafuz, 2011).

A irregularidade climática do NW de Portugal, na qual se inscreve este concelho, marca a desigual distribuição dos caudais mensais da rede hidrográfica local. Globalmente, todo o concelho pertence à parte terminal da bacia hidrográfica do rio Douro, podendo separar-se as sub-bacias do Rio Arda, do rio Paiva e do Rio Sardoura, esta última, exclusivamente do concelho (Chaminé & Gomes, 2005). A densidade da rede hidrográfica é diferenciada e reflete as características geológicas do concelho. Nas áreas de xisto domina a forte densidade de entalhe e o padrão dendrítico, o que confere uma falsa imagem da disponibilidade de recursos hídricos superficiais. A abundância de linhas de água não corresponde em muitos casos, a cursos permanentes, uma vez que nesta litologia de carácter argilo-xistoso, de muito baixa a baixa permeabilidade domina a escorrência superficial e é mínima a infiltração. A disponibilidade de águas subterrâneas é reduzida, particularmente no verão.

1.4 ENQUADRAMENTO DO TEMA

1.4.1 O CICLO HIDROLÓGICO E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água assume-se como um recurso fundamental para a sobrevivência da humanidade, pelo que constitui sempre um tema crucial de estudo. É um bem essencial com importância biológica e socioeconómica. A disponibilidade deste recurso condiciona o desenvolvimento de sociedades bem como a sua subsistência. “Civilizações floresceram com o uso de fornecimentos fiáveis de água e colapsaram quando esses fornecimentos falharam” (Fetter, 2001).

Desde sempre que as sociedades concorrem pela água, sendo a sua gestão e a relação social com o recurso fatores indispensáveis para a compreensão de cenários futuros no que respeita à utilização da água (Tempelhoff et al., 2009).

A procura de água doce tem aumentado com o crescimento populacional (Struckmeier et. al., 2015). Neste sentido, é de extrema relevância uma boa gestão e preservação dos recursos hídricos existentes no nosso planeta, de forma a satisfazer as necessidades atuais, sem comprometer as futuras, ou seja, praticando a sua exploração sustentável.

De acordo com a Organização das Nações Unidas, (ONU), em 2012, cerca de 1,6 mil milhões de pessoas viviam em regiões com escassez absoluta de água, prevendo-se que, em 2025, a escassez de água potável no planeta atinja cerca de dois terços da população mundial (Nações Unidas, ONU, 2012).

A crescente pressão exercida à escala mundial sobre os recursos hídricos, num cenário de expansão demográfica, de crescimento económico e de alterações climáticas requer uma abordagem científica e tecnológica multidisciplinar como meio para se conseguir o melhor conhecimento sobre os processos envolvidos no ciclo da água. A obtenção de conhecimento científico passível de apoiar a tomada de decisões respeitantes à gestão destes recursos – à escala local, regional ou global – é francamente facilitada quando se utilizam de forma integrada conceitos, métodos e técnicas provenientes de diversas disciplinas científicas, num esforço que, além de multidisciplinar, pode ser interdisciplinar (Assaad et. al., 2004).

No planeta Terra a água está em permanente movimento, na hidrosfera e na atmosfera, até aos reservatórios subterrâneos. Este movimento é designado por Ciclo Hidrológico ou Ciclo da Água, através do qual a água vai passando por vários estados físicos. Tem início com a evaporação da água, como resultado do aquecimento proveniente da incidência da luz solar, durante a qual esta água vai até à atmosfera, condensa e volta à superfície terrestre, sob a forma de

chuva, neve ou granizo. A água, proveniente da precipitação, tem vários destinos: uma parte é evaporada de imediato, outra chega até às massas de água superficial e outra parte infiltra-se no solo até chegar aos aquíferos (Rodrigues, 1984; Hamblin & Christiansen, 1998) (figura 9).

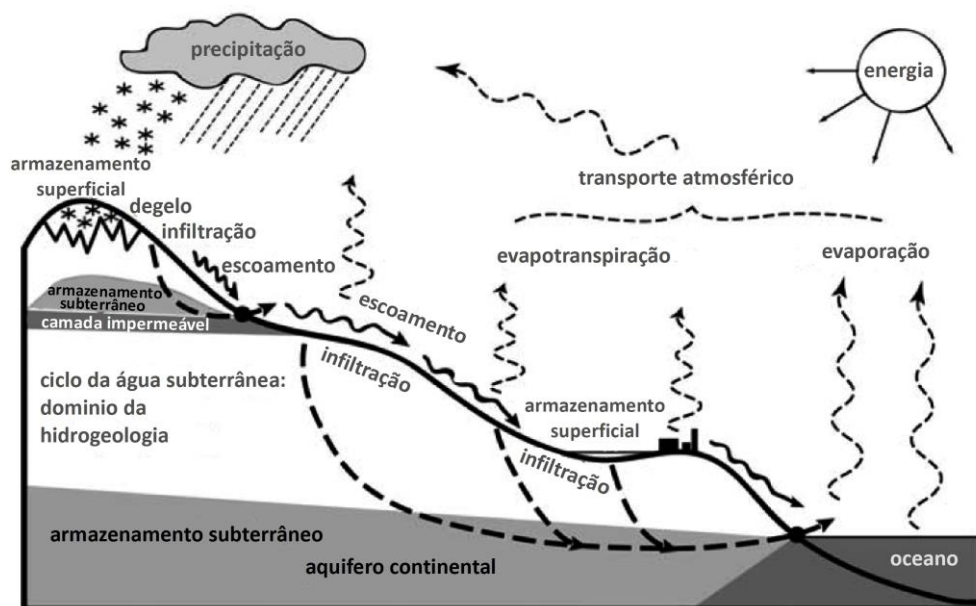


Figura 9 - Ciclo da água. Adaptado de Gilly et. al. (2012).

“As águas subterrâneas integram a componente não visível e mais lenta do ciclo da emergência da água. O tempo decorrido entre a infiltração de uma gota de água da chuva no terreno até à sua aparição em nascentes, galerias, poços, furos, ou outras manifestações naturais ou forçadas, pode variar entre alguns meses a vários anos; centenas ou milhares de anos no caso das águas minerais e termominerais de circuito lento e profundo. Este ciclo é movido pela ação da gravidade, embora para as águas mais profundas possam ser aduzidos outros mecanismos.” (Carvalho, 2006).

Quando a água se infiltra no solo e nos maciços rochosos subjacentes origina o escoamento subterrâneo. A água que circula em meio subterrâneo pode migrar até ao leito dos rios, lagos ou oceanos ou, novamente, atingindo a superfície através de nascentes. (Fetter, 2001)

Kresic (2007) define nascente como o local na superfície da terra onde há descarga de água subterrânea do aquífero, criando um fluxo visível. No Glossário Hidrológico da UNESCO (2011) nascente é designada como o local de onde a água emerge naturalmente, de uma rocha ou do solo, para a superfície do solo ou para uma massa de água superficial.

No âmbito do ciclo hidrológico, podemos considerar, ainda, um sub-ciclo para a água subterrânea, o qual pode conter três fases. A primeira diz respeito ao período em que ocorre precipitação sobre a superfície terrestre. A segunda fase corresponde ao processo de infiltração dessa água no solo, sendo que a quantidade da água infiltrada varia de acordo com diversos fatores,

nomeadamente, com o tipo de solo, o substrato rochoso, o tipo de cobertura vegetal, o declive e a distribuição da precipitação no tempo. Numa terceira e última fase, verifica-se a movimentação de água no subsolo até ao seu regresso à superfície. A água infiltra-se na chamada zona de recarga e sai deste sub-ciclo na chamada zona de descarga (e.g., Fetter, 2001; Dingman, 1994; Espinha Marques, 2007; Silva, 2009) (figura 10).

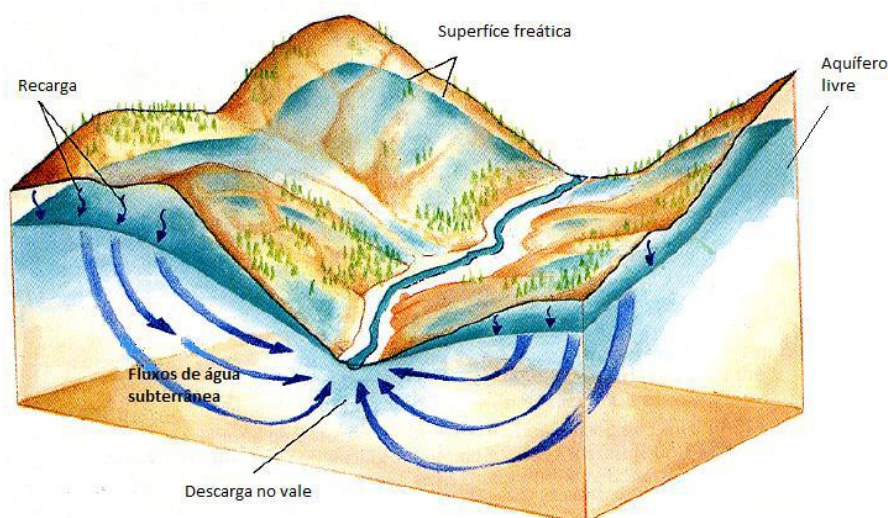


Figura 10 - Fluxos de recarga e descarga dos sistemas subterrâneos (Silva, 2009). Adaptado de Chernicoff & Whitney (2007).

Neste contexto, considerámos pertinente referir os fatores que determinam a favorabilidade à infiltração. O processo de recarga dos aquíferos consiste na deslocação da água da camada superior do solo para a zona de saturação, podendo ocorrer a partir de rios, lagos ou reservatórios artificiais, no entanto, a recarga resulta com maior frequência da infiltração da água proveniente da precipitação. As áreas com solos mais arenosos, com cobertura vegetal abundante, com declives suaves e com a precipitação distribuída de forma homogénea no tempo, tendem a ser mais favoráveis à infiltração. Por sua vez, solos argilosos, áreas com reduzida cobertura vegetal, declives acentuados, precipitação concentrada em curtos intervalos de tempo criam condições pouco favoráveis à infiltração (Espinha Marques, 2007). Tendo em conta a análise feita por este e outros autores na matéria, podemos referir como principais fatores condicionantes da favorabilidade à infiltração da água: o declive da superfície topográfica, o uso e ocupação do solo, a litologia do substrato rochoso e a precipitação (Silva, 2009).

Na natureza existem várias formações geológicas com capacidades distintas para armazenar e transmitir a água. Em hidrogeologia, dividem-se as formações geológicas em quatro grupos (Fetter, 2001): aquíferos, aquícludos, aquítardos e aquífugos.

Quando a água alcança a zona saturada do solo, é armazenada nos reservatórios subterrâneos, denominados por “aquíferos”. Os aquíferos, unidade fundamental da Hidrogeologia, são formações geológicas que permitem a circulação e o armazenamento de água nos seus espaços vazios, e cuja exploração é economicamente rentável (Lencastre & Franco, 2003).

Fetter (2001) define aquífero como uma unidade geológica com capacidade de armazenar água e de a transmitir de uma forma expedita para que possa ser explorada em quantidades apreciáveis.

Na Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE, de 23 de Outubro) podemos verificar que aquífero é designado como “uma ou mais camadas subterrâneas de rocha ou outros estratos geológicos suficientemente porosos e permeáveis para permitirem um fluxo significativo de águas subterrâneas ou a captação de quantidades significativas de águas subterrâneas” (n.º11 do art.2.º)

Existe uma grande variedade de aquíferos que diferem no modo de funcionamento. Nesta matéria, os autores consideram dois tipos de aquíferos: livres ou confinados. Um aquífero livre é uma formação geológica parcialmente saturada de água, limitado na base por uma camada impermeável, onde a superfície freática está à pressão atmosférica (Custodio & Llamas, 2001). Para FreezeCherry (1979), no aquífero livre a superfície freática constitui o seu limite superior. O aquífero confinado é uma formação geológica completamente saturada de água, limitado no topo e na base por camadas impermeáveis, sendo a pressão da água superior à pressão atmosférica (Custodio & Llamas, 2001). Este tipo de aquífero ocorre em profundidade, ao contrário do livre que se situa próximo da superfície topográfica (Freeze & Cherry, 1979).

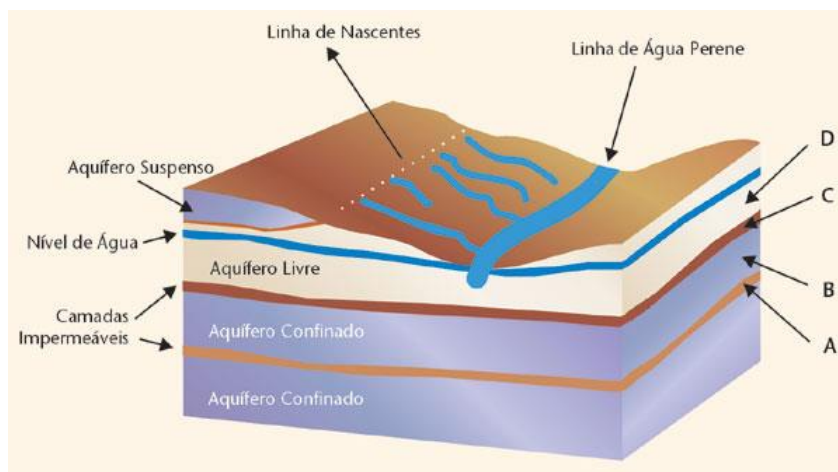


Figura 11 - Tipologia dos aquíferos

(http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto#c3)

Na figura 11 observam-se dois tipos de aquíferos: um confinado e um livre. O aquífero confinado, camada B, é limitado no topo e na base por camadas impermeáveis C e A,

respetivamente. O aquífero livre é formado pela camada D e limitado na base pela camada impermeável C.

Se realizarmos furos nestes dois tipos de aquíferos, podemos verificar situações diversas (figura 12). No furo do aquífero confinado a água sobe acima do teto do aquífero devido à pressão feita pelo peso das camadas confinantes sobrejacentes. A altura a que a água sobe chama-se nível piezométrico e o furo é artesianiano. Se a água atingir a superfície do terreno sob a forma de repuxo então o furo artesianiano é repuxante. No furo do aquífero livre o nível da água não sobe e corresponde ao nível da água no aquífero pois a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica. O nível hidrostático, também designado por nível freático, corresponde à profundidade a que a água se encontra numa determinada área. Este varia ao longo do ano, consoante a variação da temperatura e da frequência de precipitação (Fetter, 2001).

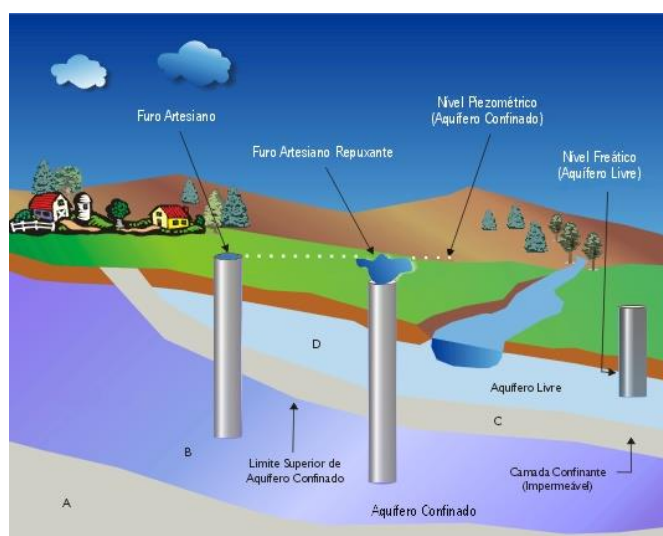


Figura 12 - Efeitos dos furos efetuados nos aquíferos livres e confinados
(http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto#c3)

A circulação da água em meios subterrâneos faz-se através dos espaços existentes nos materiais geológicos: espaços intergranulares e discontinuidades geológicas. Se os referidos espaços estiverem completamente preenchidos por água, estamos perante uma zona saturada. Esta situação reflete aquilo que acontece nos aquíferos. De qualquer modo, é importante perceber que a infiltração e a recarga dos aquíferos dependem muito da realidade da zona não saturada, designada também por zona vadosa, e que se situa entre a superfície terrestre e a superfície freática. Na zona não saturada os poros contêm espaços que não se encontram totalmente preenchidos por água, sendo frequente existir “um sistema trifásico contendo materiais sólidos (minerais ou orgânicos), líquidos (água e respetivos solutos), e gasosos (vapor de água e outros gases)” (Fetter, 2001) (figura 13).

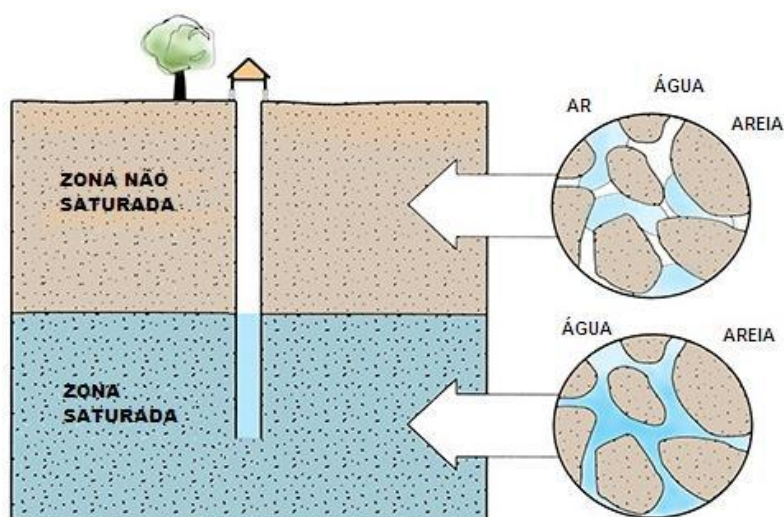


Figura 13 - Zona saturada e zona não saturada (vadosa).

Adaptado de <http://www.horsleywitten.com/evergreen/mod-1-gw-mov-recharge.html>

Os aquíferos são caracterizados pelos seus mecanismos de porosidade e permeabilidade, os quais permitem a circulação da água (figura 14). Segundo Price (1996) a porosidade de um meio subterrâneo pode ser definida como a propriedade de uma rocha possuir poros ou espaços vazios. Para Custódio & Llamas (1996) a porosidade de um material expressa-se pela relação entre o volume dos seus poros ocupada por ar ou água e o seu volume total, designada por porosidade total. A porosidade eficaz, também designada por cedência específica ou porosidade útil, é, segundo o mesmo autor, definida como a relação entre o volume de água drenada pela rocha através da gravidade e o volume total.

Na ótica de Price (1996) os materiais que permitem a passagem de água com relativa facilidade entre os seus espaços são considerados permeáveis. A permeabilidade pode ser definida como a facilidade com que um corpo é atravessado por um fluido, e que segundo Custódio & Llamas (1996) corresponde à condutividade hidráulica.

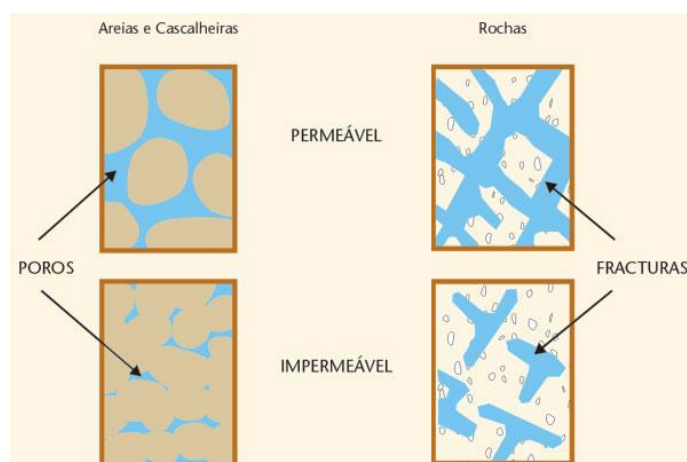


Figura 14 - Porosidade e permeabilidade nos aquíferos.

(http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto)

Na natureza, atendendo à estrutura, existem, essencialmente, três tipos de aquíferos: porosos, fissurados e cárscicos (Fetter, 2001; González de Vallejo, 2002). Nos aquíferos porosos, a água circula através de poros. A permeabilidade deve-se à sua porosidade intergranular, por ser constituído por cascalho, areia e todos os materiais detríticos de pequenas dimensões. Nos aquíferos fissurados e/ou fraturados, a permeabilidade deve-se a fissuras e a diáclases. As formações mais representativas são: granitos, gnaisses, xistos e outras rochas cristalinas. Por último, nos aquíferos cárscicos, a água circula em condutas que derivaram do alargamento de diáclases por dissolução. As formações são os calcários e dolomitos.

1.4.2 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA TERRA

Estima-se que a quantidade de água existente no nosso planeta seja de cerca de 1,4 mil milhões de km³ (Instituto Geológico e Mineiro, 2001). Cerca de 97,2% dessa água encontra-se armazenada nos oceanos, enquanto a restante distribui-se pelos rios, lagos, armazenada sob a forma de gelo e no subsolo (figura 15). Segundo Fetter (2001), apenas uma pequena percentagem de toda a água existente na Terra está disponível para o ser humano como água doce. Mais de 98% da água disponível é água subterrânea.

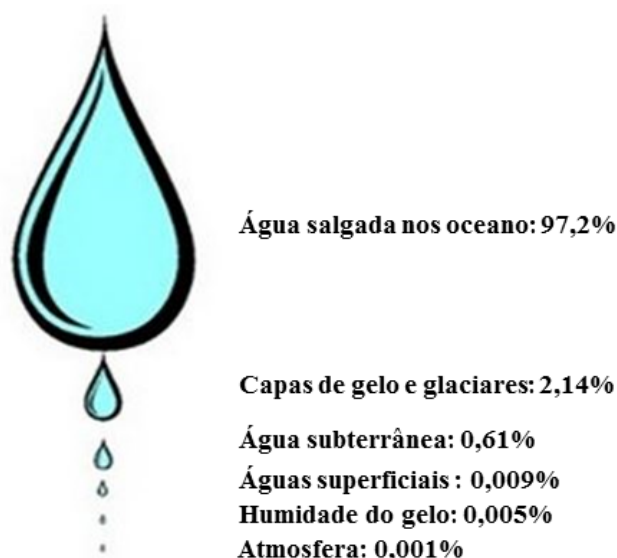


Figura 15 – Distribuição da proveniência de água no mundo. Adaptado de Fetter (2001)

Às reservas de água subterrânea atribui-se um peso significativo, sendo estas que recarregam os sistemas de água doce superficiais. Neste sentido, é de salientar a importância socioeconómica da gestão hidrológica dos solos e dos esforços que se devem desenvolver para

uma boa gestão destes recursos. A exploração sustentável da água subterrânea implica uma abordagem multidisciplinar, contemplando os domínios com a Geologia, a Biologia, a Geofísica e a Pedologia, entre outros (e.g., Espinha Marques et. al., 2011).

1.4.3 HIDROGEOLOGIA E CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Sendo a água subterrânea um bem cada vez mais precioso, necessita de uma gestão e um de conhecimento cada vez mais aprofundado. Neste âmbito, surgiu a Hidrogeologia como a ciência que se dedica ao estudo do armazenamento, circulação e distribuição das águas terrestres na zona saturada das formações geológicas, tendo em conta as suas propriedades físicas e químicas, as suas interações com o meio físico e biológico e as suas reações à ação do Homem (Rodrigues, 1984).

Fetter (1994) designa a Hidrologia como a ciência que estuda a ocorrência, distribuição, movimento e fenómenos físico-químicos de todas as águas da Terra. É um ramo da Hidrologia que enquadra as relações entre os processos geológicos e a água.

O funcionamento dos sistemas hidrogeológicos é influenciado pelo clima, pelas características da zona não saturada e pelas propriedades hidrodinâmicas e geoquímicas das formações geológicas onde circula a água subterrânea. As características da natureza do solo, a sua porosidade e permeabilidade, condicionam a infiltração e recarga dos aquíferos (Hudak, 2001). As propriedades das formações geológicas influenciam, em grande parte, os processos hidrogeológicos, nomeadamente, a infiltração e a recarga dos aquíferos, o tipo de circulação – através de meio poroso ou fraturado – e a interação química água-rocha.

Um sistema hidrogeológico caracteriza-se pelos traços distintivos dos materiais geológicos que constituem o sistema aquífero, sobretudo, aqueles que determinam a capacidade de armazenar água (porosidade) e transmitir água (condutividade hidráulica). A forma como estas características hidrológicas se distribuem espacialmente nos diferentes litótipos resulta de processos geodinâmicos internos e externos. Para além das características referidas, para se conhecer completamente um sistema hidrogeológico, é fundamental conhecer as suas características geomorfológicas e estruturais (ex. Fetter, 2001; Fitts, 2002; Carvalho, 2006; Espinha Marques, 2007).

Atualmente, uma das grandes preocupações da humanidade é a qualidade dos recursos hídricos, pela urgente necessidade de preservação da qualidade da água. A proteção deste recurso, sobretudo nas últimas décadas, tem-se revelado um desafio na manutenção da sustentabilidade das reservas de água potável, (Guo & Wang, 2009).

Geralmente, a água subterrânea está menos sujeita à contaminação do que a superficial, por se encontrar protegida à superfície pelo solo e pela cobertura rochosa. No entanto, o crescimento demográfico, as modificações do uso da terra e a industrialização acelerada, colocam este recurso em perigo (Struckmeier et al., 2005; Tellam et al., 2006).

A água subterrânea tem sido explorada em todo o mundo, sendo, atualmente, confrontada com uma variedade de problemas, nomeadamente o esgotamento e contaminação, os quais ameaçam a sua utilização sustentável (Lee, 2011)

A vulnerabilidade das águas subterrâneas está dependente de fatores como a profundidade da água, recarga e condições do uso do solo que podem mudar em resposta a mudanças futuras no clima e/ou condições socioeconómicas (Li & Merchant, 2013). À vulnerabilidade estão associadas características geológicas e hidrogeológicas que determinam a sensibilidade da água subterrânea à contaminação por atividades humanas (Doerfliger, Jeannin, & Zwahlen, 1999).

A exploração dos aquíferos condiciona a recarga e manutenção dos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que a alteração do terreno a nível superficial, modifica as condições de recarga dos aquíferos. A exploração deste recurso não é a única ameaça, dado que a contaminação a que a água está sujeita, pelas diversas atividades humanas, como a utilização de produtos químicos na agricultura, as atividades agropecuárias (Loague et al., 1996), o mau isolamento das fossas sépticas e os aterros de lixo urbanos e explorações mineiras, entre outras atividades, constituem ameaças à manutenção do recurso. Quando a água superficial entra em contacto com estes poluentes, dissolve-os e mediante a sua infiltração no solo vão contaminar as águas subterrâneas (Fetter, 2004).

A contaminação da água subterrânea é um problema ambiental de elevada importância, sendo esta uma das fontes da água doce que chega até nós, mas também por ser um problema de resolução muito complexa, e é neste sentido que vem a preocupação com a sua preservação (Silva, 2003).

Tendo em conta o risco de contaminação a que estes recursos estão expostos, é importante adotar estratégias de gestão não só de forma a prevenir a poluição de aquíferos mas também proceder à recuperação daqueles que já se encontram contaminados (Lobo Ferreira, 1997).

Pouco do benefício económico de desenvolvimento de recursos tem sido reinvestido em gestão das águas subterrâneas e as preocupações sobre a degradação dos aquíferos e sustentabilidade dos recursos começaram a surgir (Foster & Chilton, 2003). São, urgentemente, necessários grandes investimentos em recursos hídricos subterrâneos e na proteção da sua qualidade. Estes investimentos incluem disposições adequadas institucionais, de gestão do lado da procura, a valorização do lado da oferta e o controle da poluição (Foster & Chilton, 2003).

A Diretiva nº 2000/60/CE estabelece orientações para a proteção das águas doces superficiais, estuarinas, costeiras, territoriais, outras águas marinhas e das águas subterrâneas. A DQA - Diretiva Quadro da Água, reveste-se de um carácter estratégico e estruturante, contemplando também os aspetos técnicos, institucionais e organizativos. Contudo, neste documento prevalece a dimensão ambiental. Com a sua implementação, pretende-se evitar a degradação das águas, através do melhoramento do estado dos ecossistemas hídricos e promover o uso sustentável da água, de forma assegurar o seu fornecimento adequado em termos de quantidade e de qualidade. (CE, 2000) Cada Estado-Membro deverá proteger, melhorar e reconstituir todas as massas de água subterrâneas, evitando ou limitando a descarga de poluentes, garantindo o equilíbrio entre as captações e as recargas dessas águas, com o objetivo de alcançar um bom estado das águas subterrâneas.

No contexto português, o Decreto-Lei n.º 208/2008 aponta para a adoção de medidas de prevenção e controlo da poluição da água subterrânea, incluindo critérios para a avaliação do seu bom estado químico, para a identificação de tendências significativas e persistentes, para o aumento da concentração de poluentes, bem como para a definição de pontos de partida para a inversão dessas tendências. Por sua vez, o Decreto-Lei 130/2012 aponta, no artigo 8º, para a necessidade de promover a proteção e o planeamento das águas, através da elaboração e execução do plano nacional da água, dos planos de gestão de bacia hidrográfica e dos planos específicos de gestão de águas, e assegurar a sua revisão periódica.

A DQA reconhece a importância da bacia hidrográfica como unidade essencial para o planeamento e gestão dos recursos hídricos. No Artigo 3.º é referido o princípio da gestão por bacia, onde se obrigam todos os Estados-membros à identificação das bacias no seu território, a afectá-las a uma Região de Bacia Hidrográfica, a alargar esta abordagem às águas subterrâneas e a designar as necessárias autoridades competentes para coordenar e gerir a aplicação da Diretiva em cada Região Hidrográfica.

No âmbito da Resolução do Conselho de Ministros nº 81/2012, foram aprovadas orientações estratégicas de âmbito nacional e regional para a delimitação da REN - Reserva Ecológica Nacional, a nível municipal. O regime da REN articula-se com o regime dos planos municipais de ordenamento do território (PMOT).

No ponto 2.4 estabelecem-se considerações para a delimitação das áreas estratégicas de proteção e recarga dos aquíferos. A delimitação faz-se com base no conceito de vulnerabilidade à poluição, a partir de índices que têm em conta a definição de aquífero, uma vez que as áreas mais vulneráveis são também as áreas mais permeáveis que alimentam o aquífero, com maior impacto na qualidade da água subterrânea.

CAPÍTULO II

METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

2 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

2.1 BREVE ABORDAGEM METODOLÓGICA

A metodologia aplicada, conforme se esquematiza na figura 16, consistiu, numa primeira fase, na pesquisa e recolha de dados bibliográficos e documentais relativos ao tema das águas subterrâneas, bem como na análise de cartografia militar das décadas de 1940, 1970 e 1990 para a identificação dos elementos relativos a recursos hídricos subterrâneos no concelho de Castelo de Paiva.

Decorrente da análise das cartas militares, foram vetorizados todos os pontos indicadores de água subterrânea do concelho (nascentes, poços, chafarizes/fontes, poços com engenho e tanques. Paralelamente, realizou-se o pré-processamento de diversa informação *raster* e *vetorial* do concelho de Castelo de Paiva, o qual serviu de apoio à definição e análise da área de estudo, *i.e.*, a bacia hidrográfica da Ribeira de Sá, Sardoura.

Numa segunda fase, criou-se uma ficha inventário de carácter multidisciplinar para registo das nascentes com campos a preencher sobre localização, emergência da água, utilização, geomorfologia, hidrogeologia e hidroclimatologia.

Em contexto de trabalho de campo, percorremos o território da área de estudo, contactando com os habitantes e os agricultores, o que permitiu a identificação de diversas nascentes que não constavam na documentação analisada em gabinete, e o preenchimento das fichas de inventário, assim como a recolha de um conjunto de dados relativos à temática em estudo e a confirmação da informação documental recolhida.

Por último, foi criada uma BDE no *software* Arcgis – ArcCatalog 10.2 da ESRI, denominada HidroGeoPaiva, na qual se procedeu ao armazenamento e organização da informação recolhida sobre as nascentes, decorrente da análise bibliográfica/documental e do levantamento de campo. Seguiu-se a análise dos dados recolhidos, o seu cruzamento com outros parâmetros, designadamente, geologia, uso do solo, declives e exposição de vertentes, e a elaboração de cartografia temática em ambiente SIG, o que nos possibilitou uma leitura mais espacial da temática em estudo.

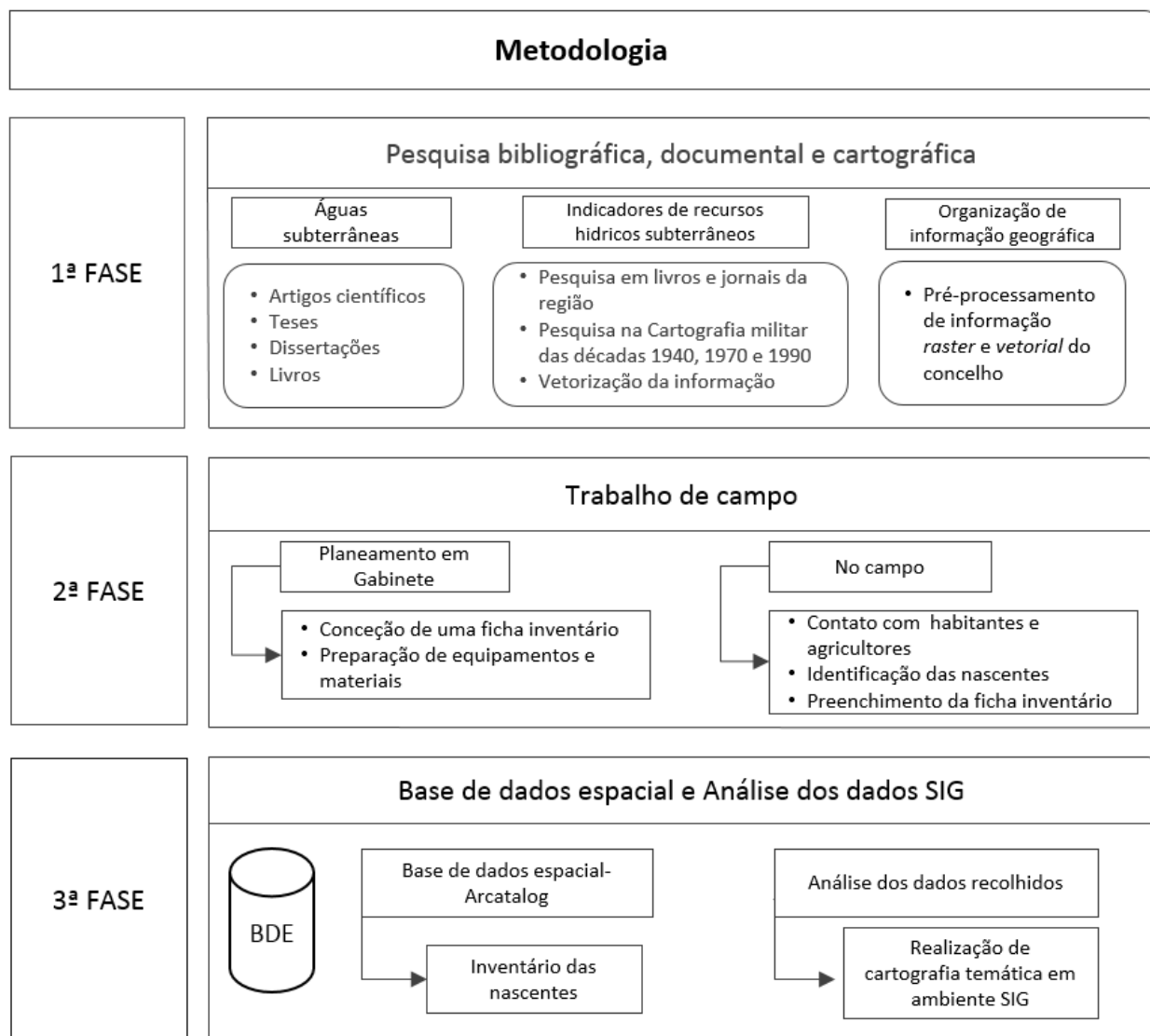


Figura 16 - Metodologia seguida no estudo das águas subterrâneas da Bacia da Ribeira de Sá, Sardoura.

2.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA, DOCUMENTAL E CARTOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica e documental incidu em artigos científicos, teses, dissertações e livros que abordam a temática das águas subterrâneas em termos globais e, no caso específico do concelho de Castelo de Paiva, recorreremos à leitura complementar de jornais antigos da região e na análise de cartografia militar das décadas de 1940, 1970 e 1990, nos quais se pesquisaram indicadores de locais (símbolos) onde poderiam existir nascentes.

Com o intuito de descobrir elementos indicadores de nascentes (chafarizes, fontanários, fontes, ...), foram consultados, entre outros, livros publicados sobre o concelho (Monterey, 1997; Pinho, 1947) e o jornal local “O Pejão”, desde a década de 1940 (figuras 17, 18 e 19).

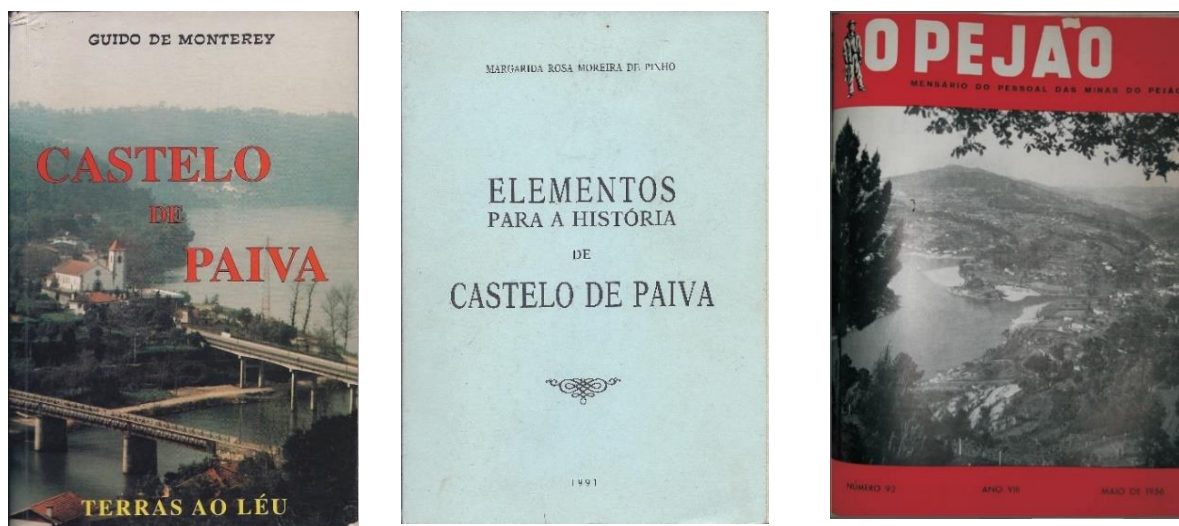


Figura 17 - Alguns dos livros e jornais consultados para identificação de nascentes existentes no concelho de Castelo de Paiva.



Figura 18 - Alguns exemplos de fontes, fontanários e chafarizes identificados no livro “Terras ao Léu” (Monterrey, 1997).



Figura 19 – Registos alusivos a nascentes encontrados na pesquisa bibliográfica no Jornal “O Pejão” Maio de 1956.

Como complemento à pesquisa bibliográfica e documental, seguiu-se a procura de documentos cartográficos onde constasse a localização de recursos hídricos subterrâneos no concelho de Castelo de Paiva. Para o efeito, na Câmara Municipal de Castelo de Paiva encontraram-se cartas militares com levantamentos de campo referente às décadas de 1970 e 1990. Na pretensão de uma análise mais rigorosa a nível temporal, procurámos cartografia mais antiga em diversas fontes, mas só foi possível encontrar informação relativa à década de 1940 no IGEOE - Instituto Geográfico do Exército, pelo que foi necessária a sua aquisição.

As cartas militares utilizadas encontram-se à escala 1/25000 e para abranger a totalidade do território de Castelo de Paiva, foram utilizadas as folhas 134, 135, 144 e 145 do IGEOE.

Os documentos cartográficos utilizados revelaram-se fundamentais para a realização das fases subsequentes do trabalho uma vez que contêm informação iconográfica assinalada como chafariz ou fonte, poço, tanque, poço com engenho e nascente. A vetorização destes elementos e a análise da dinâmica espaço-temporal do concelho de Castelo de Paiva, confrontadas com a pesquisa bibliográfica facultaram-nos uma primeira base de trabalho com a localização georreferenciada da existência de indicadores de recursos hídricos subterrâneos, essencial para o desenvolvimento do trabalho de campo.

Ao observarmos a cartografia, verificámos mudanças significativas entre as cartas. A título de exemplo, podemos observar na figura 20 que para além da notória alteração visual ao nível dos *layers*, a carta mais antiga, a da década de 1940, contém informação iconográfica que

não consta nas cartas posteriores. Outra informação desaparece na carta da década de 1970, reaparecendo na de 1990. Pelos fatos descritos, a análise complementar das três cartas, foi pertinente e conduziu-nos a uma recolha de dados mais alargada.

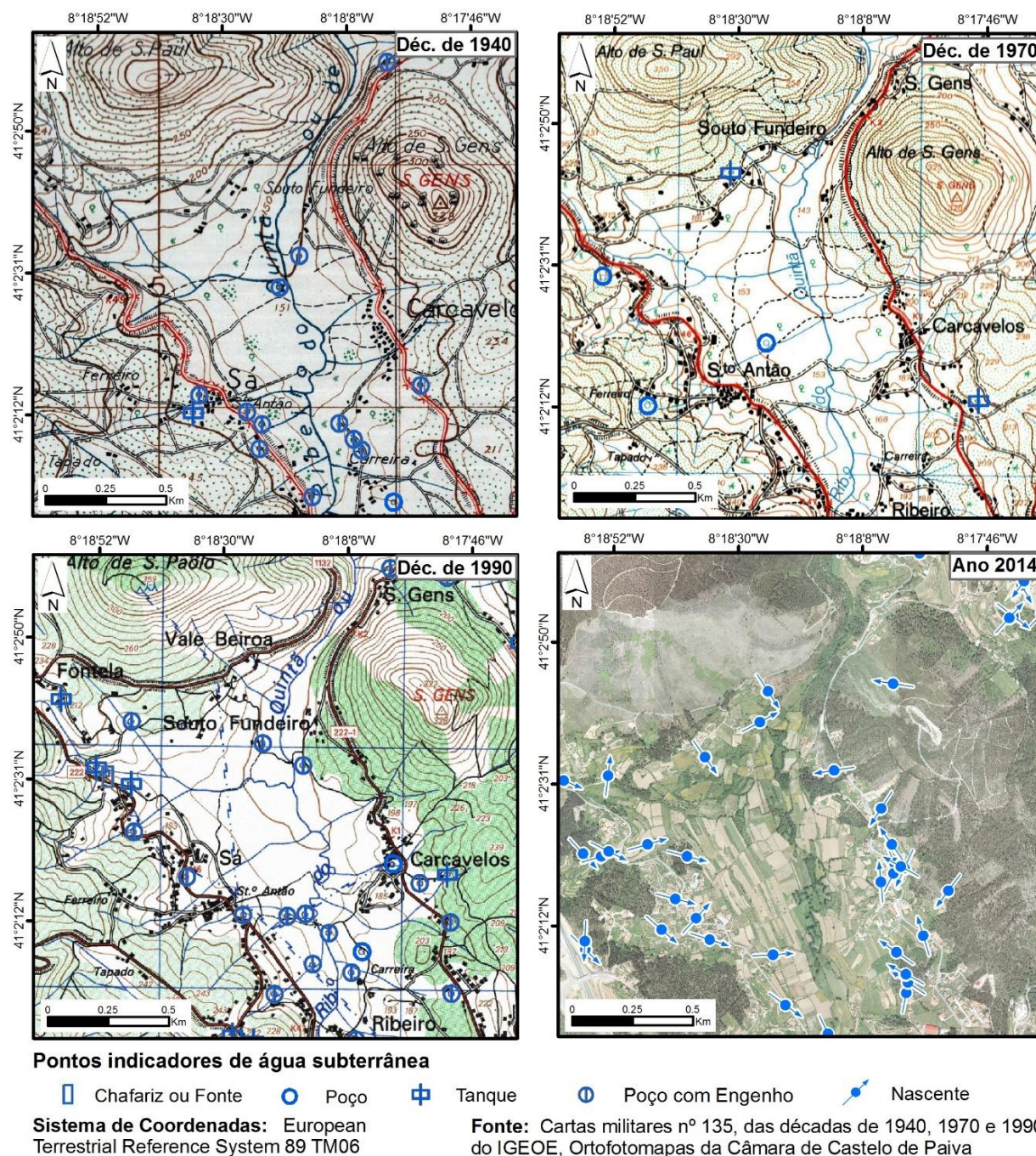


Figura 20 – Localização de indicadores de recursos hídricos subterrâneos assinalados na cartografia militar das décadas de 1940, 1970 e 1990, e inventário de 2014. Área-amostra: Vale da ribeira de Sá.

2.3 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: A BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE SÁ, SARDOURA

Após uma primeira análise da distribuição dos indicadores de recursos hídricos subterrâneos no concelho de Castelo de Paiva, definimos como área de estudo a bacia hidrográfica da ribeira de Sá, Sardoura.

Optámos por esta delimitação geográfica, uma vez que nos possibilitava analisar as nascentes em contextos litológicos distintos, e, pela primeira análise que fizemos aos recursos hídricos subterrâneos do concelho através das cartas militares, constatámos que reunia um conjunto significativo de pontos indicadores de proveniência de água subterrânea (figura 21).

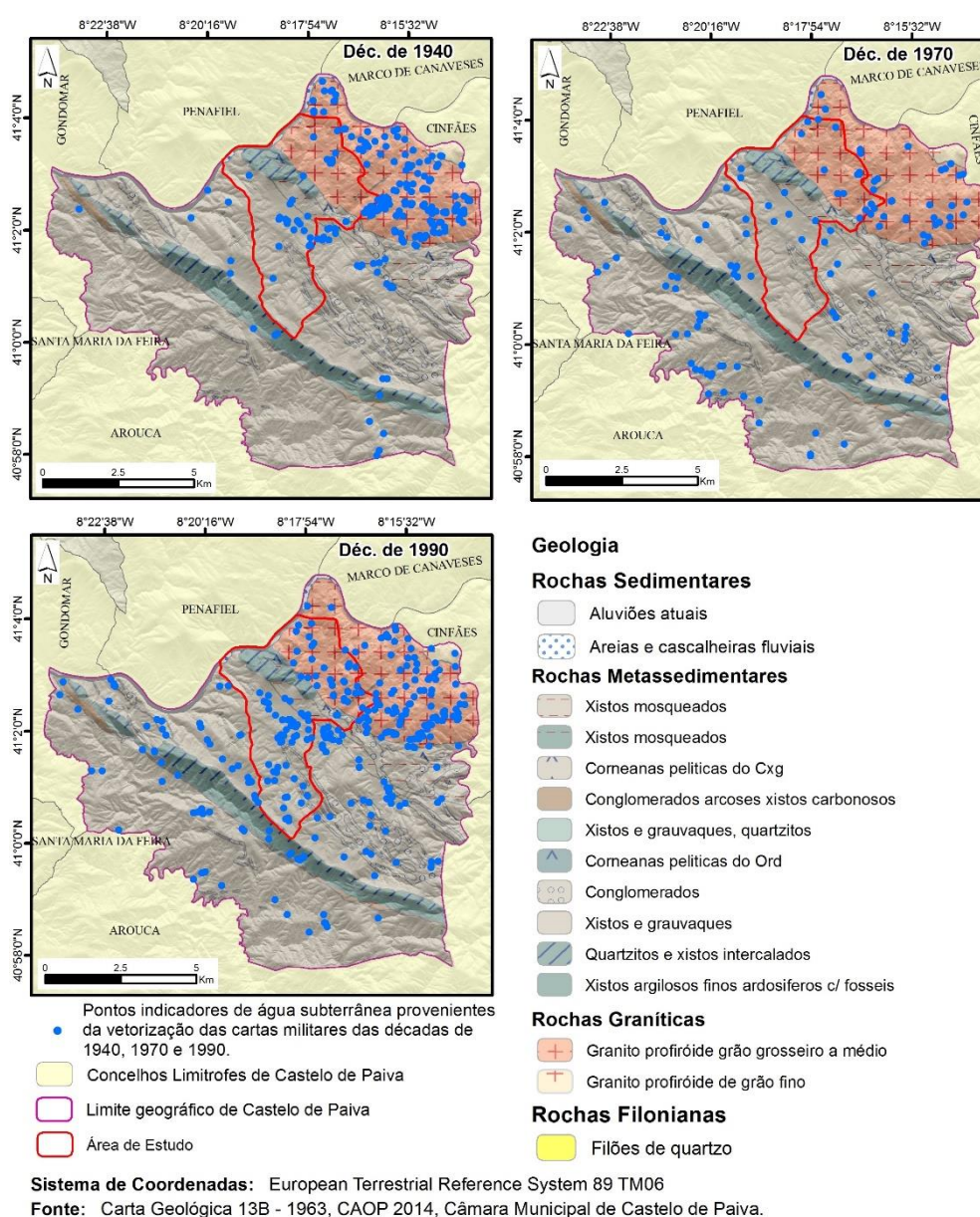


Figura 21 - Distribuição dos pontos indicadores de água subterrânea provenientes da cartografia militar das décadas de 1940, 1970 e 1990 no concelho de Castelo de Paiva.

A área de estudo estendeu-se à área jusante da bacia da ribeira de Sá, a este, abrangendo uma secção do rio Sardoura até à foz e para Oeste, numa extensão até ao Rio Douro. Deste modo, a delimitação desta área permitiu-nos um estudo mais alargado.

A ribeira de Sá nasce no lugar de S. Pedro do Paraíso, (figura 22a) à cota aproximada de 460m (figura 23) percorrendo no seu traçado principal cerca de 9,8 km pelo território da União das Freguesias de Raiva, Pedorido e Paraíso e pela freguesia de Santa Maria de Sardoura, tendo a sua bacia hidrográfica uma área de 10,5 km². A sua foz localiza-se no lugar de Rata, no rio Sardoura (figura 22b).

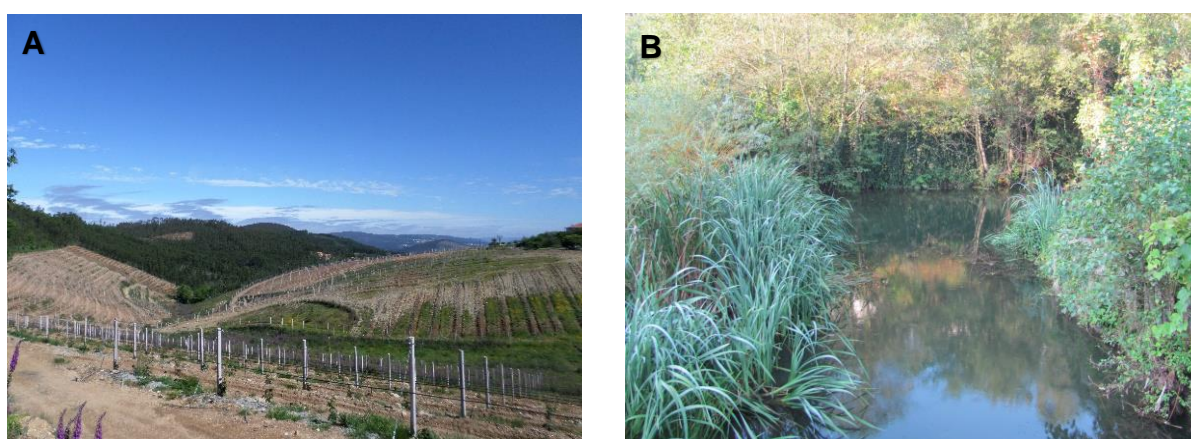


Figura 22 – A) Área junto da nascente da ribeira de Sá em São Pedro do Paraíso. B) Localidade onde desagua a ribeira de Sá, lugar de Rata, Sardoura.

O rio Sardoura nasce no lugar da Lomba dos Burros, na freguesia de Real, em Castelo de Paiva, no limite geográfico com a freguesias da S^a Eulália do concelho de Arouca, por onde inicia o seu percurso de 20 km, até desaguar no rio Douro. Constitui a principal bacia endógena de Castelo de Paiva, apresentando um caudal relativamente pequeno durante o verão. A sub-bacia do rio Sardoura compreende uma área de aproximadamente 40 km² e instala-se em litologias xistentas nos setores a montante e graníticas a jusante. É nesta sub-bacia que se encontram as principais áreas topograficamente deprimidas do concelho, ou seja, as depressões de S. Antão-Ribeiro, de Nojões e de Real, as quais favorecem a infiltração do escoamento superficial e, por conseguinte, a boa aptidão aquífera destes locais (Chaminé & Gomes, 2005). A secção do rio Sardoura, incluída na área de estudo, abrange 5,5 Km do seu percurso e percorre a União de Freguesias de Sobrado e Bairros e freguesias de Real, São Martinho e Santa Maria de Sardoura, até à foz no rio Douro.

Topograficamente, o relevo da bacia hidrográfica da ribeira de Sá é marcado pelo alinhamento orográfico mais setentrional do concelho, no qual se incluem as elevações Alto de S. Paúl (360m) e Alto de S. Gens (328m) (figura 23).

A área de estudo total tem 18,68 Km² e o percurso da ribeira de Sá e da secção abrangida do rio Sardoura tem um total de 15,4km.

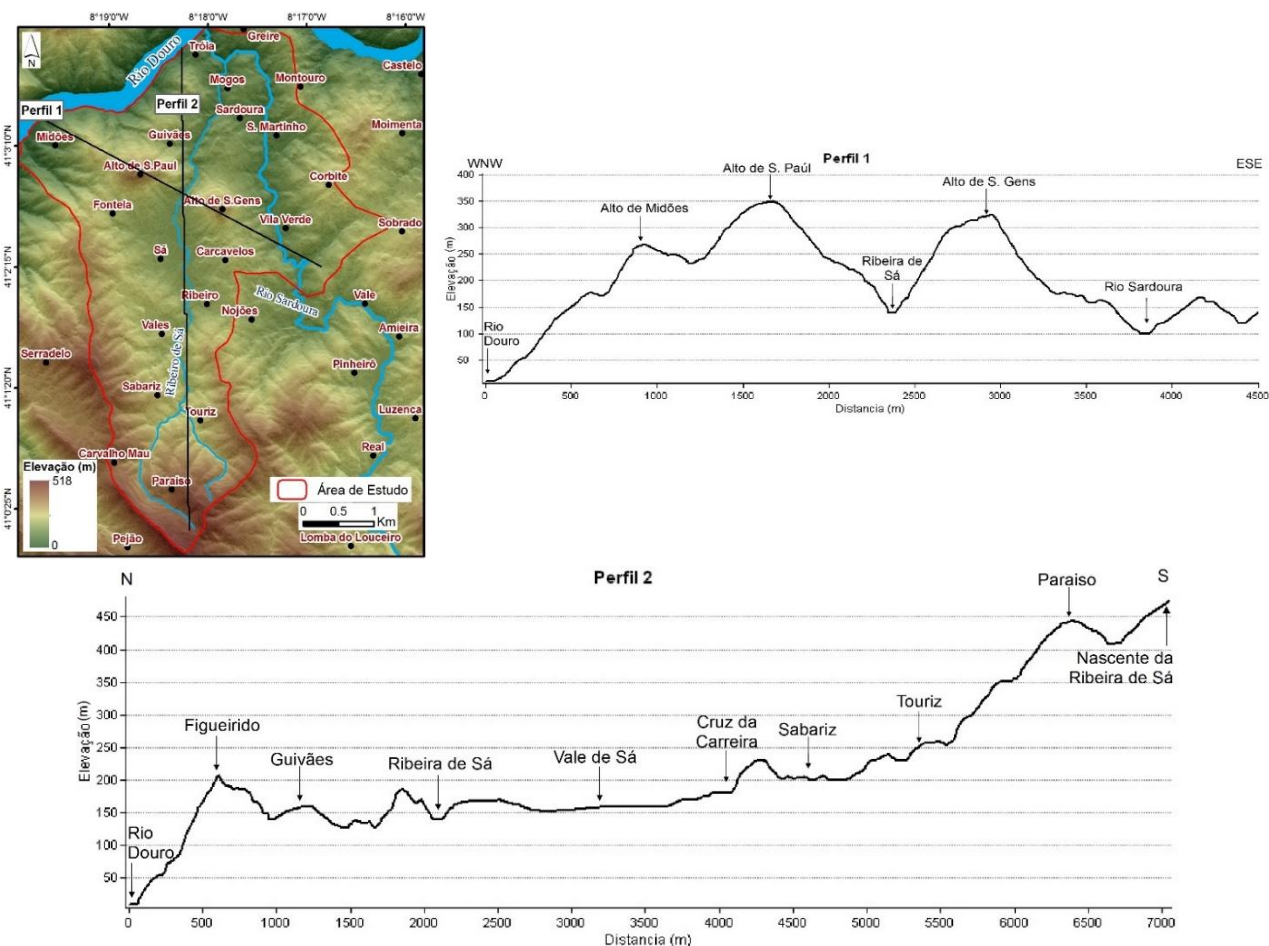


Figura 23 - Perfis topográficos ilustrativos do relevo da área de estudo.

2.4 TRATAMENTO E PRÉ-PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO VETORIAL E RASTER

A implementação deste projeto SIG abrangeu várias fases de tratamento e processamento da informação para, numa fase posterior, obtermos resultados finais credíveis. A informação recolhida durante o trabalho de campo foi cartografada com recurso a *software* de tratamento de informação geográfica.

Inicialmente, procedemos ao tratamento dos dados de base (tabela 1), ou seja, à digitalização de dados que se encontravam em formato de papel. As cartas militares utilizadas foram digitalizadas, utilizando equipamento de alta resolução e procedemos ao recorte das molduras de cada folha para posterior georreferenciação, com o *software* ArcGis 10.2. De seguida, reunimos um conjunto de informação *vetorial* e *raster*, a qual, após analisada e pré-processada, serviu de base cartográfica para o análise da distribuição das nascentes e para a construção dos

mapas temáticos. Para além das cartas militares, no apoio à localização de nascentes, recorreremos aos ortofotomapas digitais mais recentes (2008), georreferenciados pelo IGP à escala 1/10 000 e com uma resolução espacial de 0,25m, os quais foram disponibilizados pelo Município de Castelo de Paiva.

Tabela 1 - Bases cartográficas utilizadas no projeto

Base cartográfica	Fonte	Escala	Temas criados
Ortofotomapas digitais (2008)	Câmara Municipal de Castelo de Paiva Instituto Geográfico Português (IGP)	1/10 000 Resolução espacial – 0,25m	Observação do território
Cartas Militares das décadas de 1940, 1970 e 1990	IGEOE - Instituto Geográfico do Exército	1/25 000	Inventário de nascentes
Altimetria	Instituto Geográfico Português (IGP)	1/10 000	MDT
			Declives
			Exposições das vertentes
			Curvatura das vertentes
Carta geológica de Portugal	Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)	1/50 000	Vectorização das unidades litológicas do concelho
Carta de ocupação do solo Cos 2007	Câmara Municipal de Castelo de Paiva Instituto Geográfico Português (IGP)	1/25 000	Classes de ocupação do solo
CAOP - Carta administrativa de Portugal 2013	Instituto Geográfico Português (IGP)	1/25 000	Limites Administrativos oficiais ao nível da Freguesia, Município e Distrito
Referenciação geográfica			
Sistema de referência	Elipsóide de referência	Projeção cartográfica	
PT-TM06/ ETRS89	GRS80 (Geodetic Reference System 1980)	Transversa de Mercator	

A CAOP - Carta Administrativa oficial de Portugal de 2014 foi obtida no Instituto Geográfico de Portugal (IGP), mantendo os metadados originais. A utilização desta base cartográfica permitiu-nos processar as delimitações administrativas da área de estudo. A carta de ocupação do solo de 2007 (COS2007) nível III, à escala 1/25 000, foi cedida pela Câmara Municipal de Castelo de Paiva e produzida pelo IGP. A informação altimétrica vetorial também foi cedida pela Câmara Municipal de Castelo de Paiva. Encontra-se à escala 1/10 000, possuindo as curvas de nível uma equidistância de 10 metros.

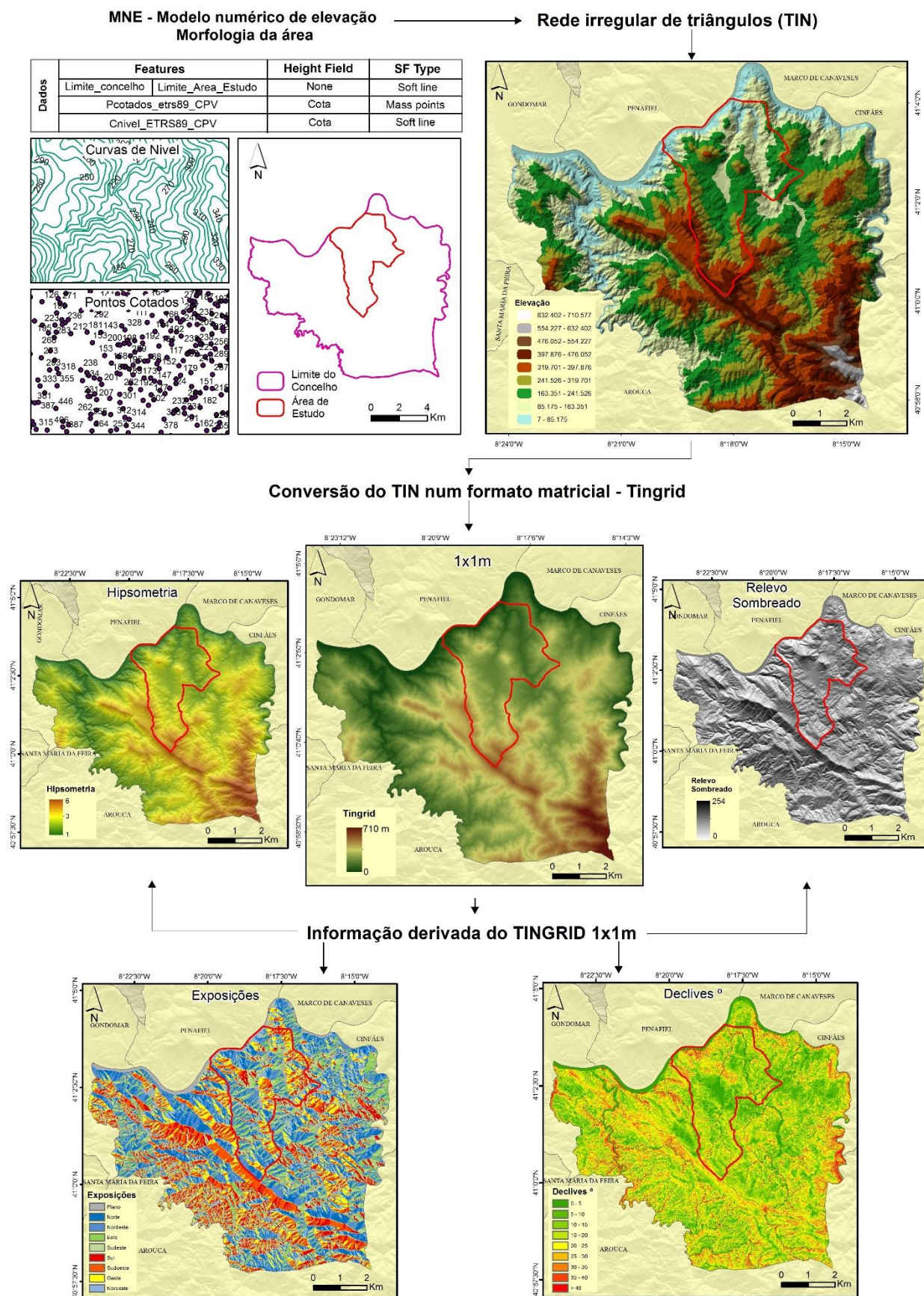


Figura 24 - Esquema metodológico da construção do MNE – Modelo Numérico de Elevação e da extração da informação relevante do concelho para análise da área de estudo.

Segundo Carvalho (2006), não há prospeção e pesquisa de águas subterrâneas sem uma carta geológica. Assim, como não possuíamos a informação geológica em formato *shapefile*, foi necessário vetorizar a carta geológica, 13-B, na área circunscrita ao concelho de Castelo de Paiva.

Com recurso às curvas de nível e aos pontos cotados à escala 1:10 000, foi criado um MDT - Modelo Digital de Terreno, com um *pixel* de 1 m, do qual foi extraída informação derivada, nomeadamente, as exposições das vertentes, declives, hipsometria e relevo sombreado (figura 24)

Adotámos, ainda, o sistema de coordenadas ETRS89 (DGT, 2014) conhecido por Sistema de Referência Terrestre Europeu, para todo o processamento, construção da BDE no Arcatalog e em todos os mapas (layouts). Para o efeito, foi necessário realizar a transformação do sistema de coordenadas de origem para o sistema de coordenadas adotado nesta investigação.

2.5 ELABORAÇÃO DA FICHA DE INVENTÁRIO

Após a georreferenciação dos indicadores dos recursos hídricos subterrâneos e do pré-processamento da informação *vetorial* e *raster* do concelho de Castelo de Paiva, elaborámos uma ficha para inventariação das nascentes, a qual foi utilizada nas deslocações ao terreno, onde se procedeu ao registo dos dados recolhidos.

O Inventário da água subterrânea deve ser usado como ferramenta de planeamento (Carneiro & Carvalho 2010).

O inventário é, geralmente, considerado como o ponto de partida mais adequado para os estudos hidrogeológicos permitindo, de forma eficaz e económica, a recolha de informações sobre a hidrogeologia do local a estudar (ex. Custódio & Llamas 1996; Moore, 2002; Friedel, 2005). Incorpora uma listagem de pontos de água que devem permitir a definição de uma rede de monitorização abrangendo a globalidade da área de estudo (Custódio & Llamas, 1996).

Sendo o primeiro objetivo da maioria dos programas de amostragem de águas subterrâneas recolher amostras representativas do sistema aquífero, são vários os autores que afirmam que um estudo hidrogeológico deve iniciar-se pela inventariação de pontos de água (ex. Pulido, 1978; Custódio & Llamas, 1996; Sanders, 1998; Stone, 1999; Moore, 2002).

Ao elaborarmos a ficha de inventário, procurámos adequá-la aos objetivos específicos do trabalho de campo, nomeadamente o registo da localização das nascentes, condições de acesso, as condições hidrogeológicas e hidroclimatológicas, traços geomorfológicos e condições da utilização.

A ficha de inventário encontra-se organizada em cinco grupos de informação (figura 25). Reveste-se de um carácter multidisciplinar, necessário na análise das águas subterrâneas, conjugando e organizando toda a informação recolhida.

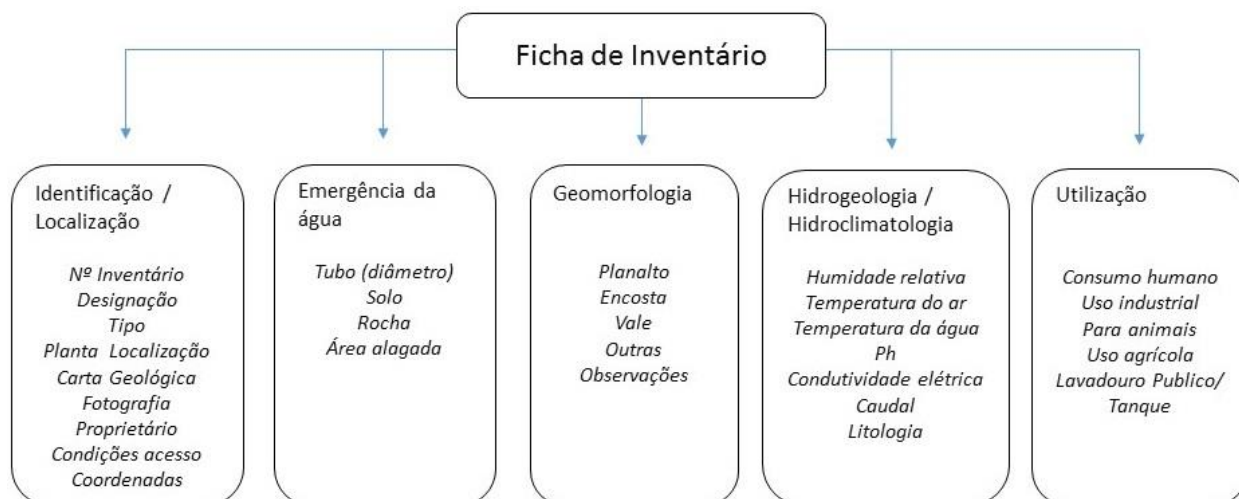
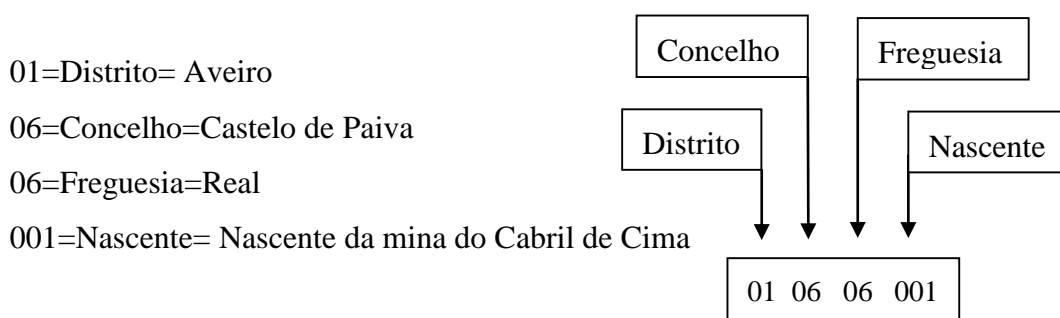


Figura 25 - Esquema da ficha de inventário e respetivos atributos.

A abordagem multidisciplinar baseada na recolha e interpretação de dados topográficos, geológicos, geofísicos e hidrogeológicos e consequente tratamento da informação em SIG oferece um bom potencial do estudo (Afonso et al., 2010).

Para facilitar, numa fase posterior, a procura e análise dos registos efetuados, foi atribuída codificação a cada ficha de inventário, seguindo a metodologia do INE - Instituto Nacional de Estatística, conforme demonstra o exemplo seguinte.



Assim, para a primeira nascente que está localizado na freguesia de Real atribuiu-se o código 010606001

Para além da codificação utilizada para a localização das nascentes (tabela 2), recorreremos ao sistema de coordenadas geográficas PT-TM06/ETRS 89 (DGT, 2014).

Tabela 2 - Códigos para distrito, concelho e respetivas freguesias. Adaptado de IGEOE, CAOP (2014).

Codificação para as freguesias abrangidas pela área de estudo			
Código	Distrito	Concelho	Freguesia
01 06 06	Aveiro	Castelo de Paiva	Real
01 06 07	Aveiro	Castelo de Paiva	Santa Maria de Sardoura
01 06 08	Aveiro	Castelo de Paiva	São Martinho de Sardoura
01 06 10	Aveiro	Castelo de Paiva	União de Raiva, Pedorido e Paraíso
01 06 11	Aveiro	Castelo de Paiva	União de Sobrado e Bairros

Na ficha de inventário (figura 26) sistematizaram-se as condições de ocorrência das nascentes, nomeadamente, se a água emerge através de um tubo, se corresponde a uma área alagada ou, ainda, o tipo de substrato da emergência, se é solo ou rocha.

Diferenciou-se, ainda, as características geomorfológicas do terreno, relacionadas com a localização da nascente, de forma a caracterizar o contexto geomorfológico em que ocorre a nascente, nomeadamente, classificando-o como áreas de planalto, encosta, talvegue ou vale.

Para o inventário, recorreremos, ainda, a dados das áreas da Geologia, Hidrogeologia e Hidroclimatologia. Sintetizaram-se informações referentes às características da água, nomeadamente, cor, cheiro e medição de caudal (L/s). Mediram-se parâmetros hidrogeológicos como a condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), a temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e o pH. Relativamente à componente climatológica, existe também referência à temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e à humidade relativa (%). Adicionámos também informações geológicas regionais relativas ao contexto litológico e tectónico em que cada nascente está inserida.

A utilização atribuída a cada nascente também foi considerada, designadamente se corresponde ao consumo humano, balneoterapia, engarrafamento, uso industrial, tanque público, para animais, uso agrícola, tanque/lavadouro público, fontanário ou, ainda, se não tem utilização.

Nº de Inventário:	<input type="text"/>	Designação:	<input type="text"/>
Tipo:	<input type="text"/>	Nº da Carta Militar de Portugal 1/25000:	<input type="text"/>
		Cota:	<input type="text"/>
Planta de Localização	Carta Geológica	Fotografia	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Proprietário:	<input type="text"/>	Condições de Acesso:	<input type="text"/>
Coordenadas Geográficas (Etrs 89):	Lat: <input type="text"/>	Long: <input type="text"/>	
A água que emerge através de:	Tubo (diâmetro) <input type="text"/>	Solo: <input type="text"/>	Rocha: <input type="text"/>
		Área alagada: <input type="text"/>	
Uma única descarga:	<input type="text"/>	Um grupo de Nascentes:	<input type="text"/>
		Área de descarga:	<input type="text"/>
Nascente Permanente:	<input type="text"/>	Nascente temporária:	<input type="text"/>
Geomorfologia:	Planalto: <input type="text"/>	Encosta: <input type="text"/>	Talvegue: <input type="text"/>
		Outras: <input type="text"/>	Observações: <input type="text"/>
Enquadramento geológico e hidrogeológico/Hidroclimático:			
Nº da Carta Geológica 1/50000: <input type="text"/>			
Unidade hidrogeológica local ou regional: <input type="text"/>			
Litologia: <input type="text"/>			
Tectónica: <input type="text"/>			
Armadilha hidrogeológica: <input type="text"/>			
Qualidade da água e caudal:			
Data:	<input type="text"/>	Hora: <input type="text"/>	Cheiro: <input type="text"/>
		Cor: <input type="text"/>	Turbidez: <input type="text"/>
Outras observações:	Plantas: <input type="text"/>	Animais: <input type="text"/>	Algas: <input type="text"/>
		Incrustações: <input type="text"/>	
Caudal:	<input type="text"/>	Medido com: <input type="text"/>	Temp Ar (°C): <input type="text"/>
Temp Água (°C):	<input type="text"/>	Ph: <input type="text"/>	Humidade Relativa (%): <input type="text"/>
		Cond Elétrica (uS/cm):	<input type="text"/>
Utilização:	Consumo Humano: <input type="text"/>	Balneoterapia: <input type="text"/>	Engarrafamento: <input type="text"/>
		Uso Industrial: <input type="text"/>	
	Para Animais: <input type="text"/>	Uso agrícola: <input type="text"/>	Lavandouro Público: <input type="text"/>
		Sem Uso: <input type="text"/>	
Estruturas de desenvolvimento:			
Data da Estrutura:	<input type="text"/>	Construção antiga: <input type="text"/>	Construção Recente: <input type="text"/>
Observações:	<input type="text"/>		
Preenchido por:	<input type="text"/>	Verificado Por:	<input type="text"/>
		Data:	<input type="text"/>

Figura 26 - Ficha de inventário utilizada durante o trabalho de campo. Adaptado de Carvalho (2006)

2.6 TRABALHO DE CAMPO

Numa primeira fase, o propósito das deslocações ao terreno consistiu no reconhecimento e confirmação na área de estudo, dos indicadores dos recursos hídricos subterrâneos (nascentes, fontanários, chafarizes, fontes, poços e poços com engenho,...).

A partir deste ponto, dirigimos o foco do trabalho de campo (figuras 27 e 28) para o local de emergência da água subterrânea, a nascente, independentemente do uso posterior da água



Figura 27 – Aspectos do trabalho de campo: A) Junto à nascente da Pia das Pombas no monte de São Gens; B) Paisagem que se avista para o monte de São Paúl, evidenciando os afloramentos quartzíticos; C) Observações e análise de campo; D) Nascente da mina de água da Volta do Pereiro, observando-se o xisto.



Figura 28 – Alguns exemplos das nascentes inventariadas: A) Nascente da mina da Ranha de Cima. B) Nascente da mina da Fonte Antiga. C) Nascente da Fonte Antiga de Carcavelos. D) Nascentes da mina do Bacelo de Cima. E) Nascente da mina de Cerqueira Direita. F) Nascente da mina do Vale do Sougo. G) Nascente da mina do Souto Fontela. H) Fontanário de Sá. I) Nascente da mina das Pontas Fronhas. J) Nascente da mina da Casa da Portela. K) Dia chuvoso de trabalho de campo. L) Nascente do Fontanário da Rata. M) Ponto de pesquisa a 128 metros na entrada da mina do Pinheiral Carcavelos. N) Interior da mina dos Viveiros Direita dividido em duas galerias. O) Nascente da mina da Tileira da Tapada. P) Utilização da bússola em trabalho de campo.

O trabalho de campo foi efetuado durante o intervalo temporal de Janeiro a Março de 2014, englobando várias deslocações à área de estudo. Na figura 29 apresentamos um esquema que evidencia as fases deste processo.

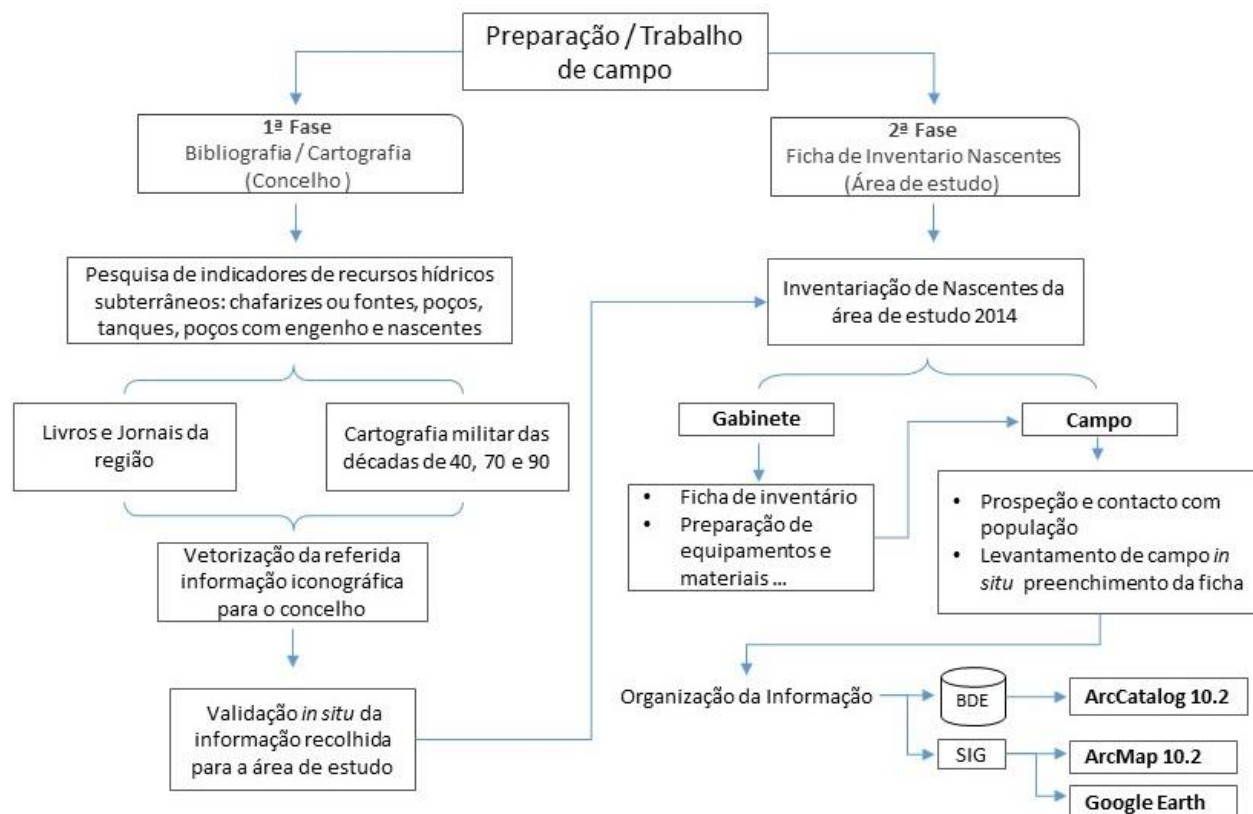


Figura 29 - Esquema relativo às tarefas executadas na preparação e durante o trabalho de campo.

Durante o trabalho de campo foram tomadas anotações relativas a cada elemento identificado e a sua localização efetuada através do equipamento GPSmap 62s da Garmin (figura 30a) no sistema de coordenadas latitude e longitude, datum WGS 84

A georreferenciação de elementos no terreno realizada com o GPS - Global Position System foi precisa e imprescindível, uma vez que permitiu uma boa identificação posterior em gabinete das nascentes e da sua altitude. Os pontos levantados com o GPS foram, posteriormente, ajustados com o auxílio dos ortofotomapas e de fotografias do trabalho de campo. Em alguns casos, com a sobreposição dos ortofotomapas tivemos que realizar alguns ajustes mínimos.

No decorrer do trabalho de campo, optou-se por exportar para o formato *shape* os pontos recolhidos diariamente de modo a garantir a integridade da informação.

Procurando obter um maior rigor na informação recolhida, elaborámos, em gabinete, materiais em ambiente SIG, nomeadamente um esboço dos mapas geológico, hidrogeológico e do modelo digital do terreno.

Apresentámos na figura 30b, os registos GPS das saídas de campo que foram exportados para *shape*.

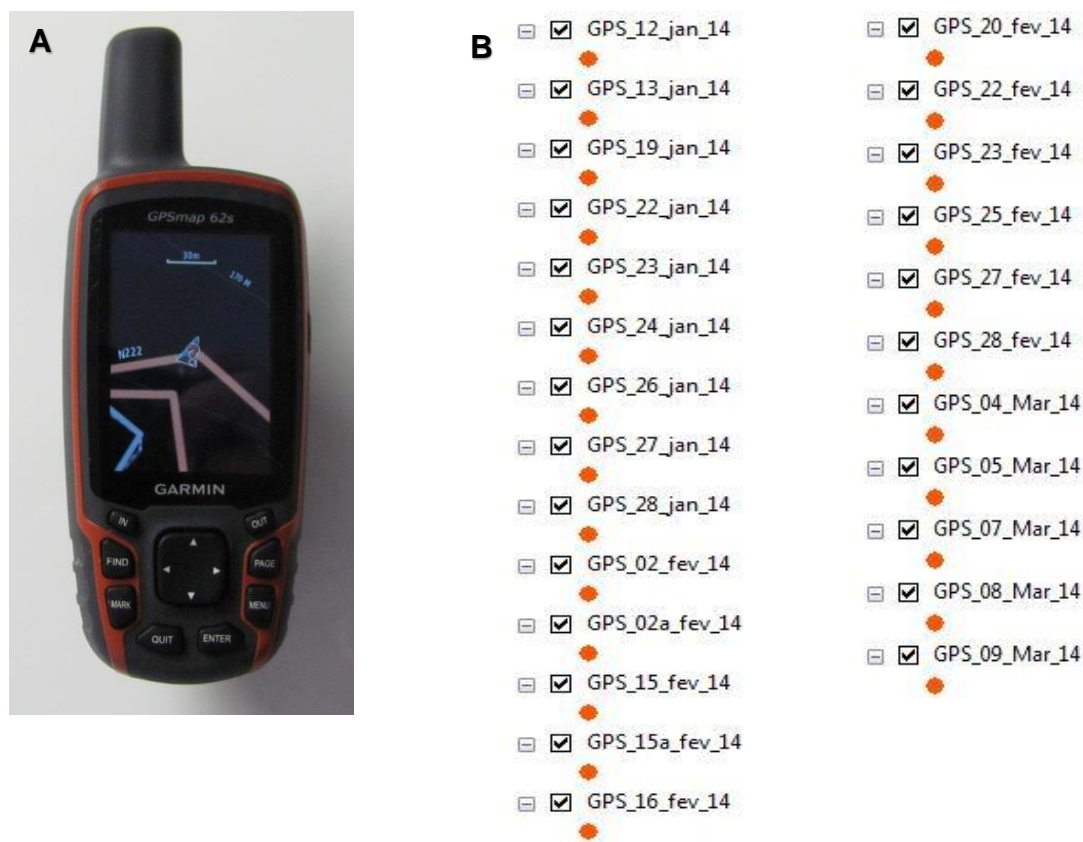


Figura 30 – GPS utilizado no trabalho de campo: A) GPSMap 62s da Garmin. B) Registos GPS dos dias de levantamento de campo na área de estudo.

A exportação da localização das nascentes para o formato *shape* possibilitou a sobreposição destes aos mapas referidos anteriormente. Este procedimento revelou-se de extrema importância uma vez que, com elevado rigor, foi possível verificar qual o contexto geomorfológico, geológico e hidrogeológico em que se inserem as nascentes.

A parceria estabelecida entre o trabalho de campo e o trabalho de gabinete manteve-se durante a investigação, concretizando-se, por exemplo, na medição da temperatura do ar e da humidade relativa.

Estes parâmetros foram recolhidos através da análise do histórico dos gráficos de observação do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, disponíveis no respetivo *site* institucional <https://www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie.grafica/obsHorariosHistorico.jsp>

Neste contexto, para garantir uma maior fiabilidade dos valores entre as nascentes e a estação, a nossa pesquisa direcionou-se para as estações meteorológicas mais próximas de Castelo de Paiva, ou seja, Penafiel e Arouca. Recolhemos a informação pretendida na estação de Arouca, uma vez que na de Penafiel não existiam dados (figura 31).

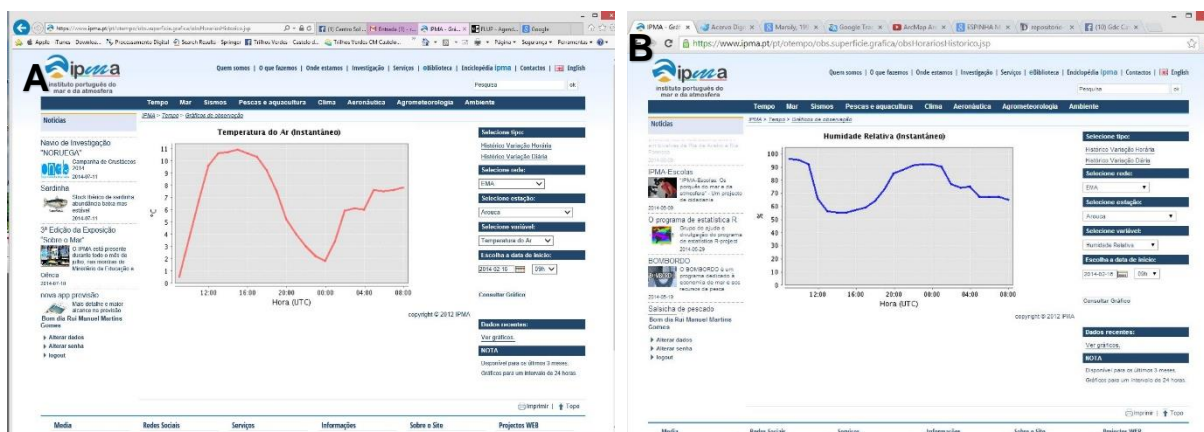


Figura 31 - Consulta de dados meteorológicos. A) Temperatura do Ar e B) Humidade relativa para um dos dias de trabalho de campo “16 de Fevereiro de 2014” no site do Instituto Português do Mar e da Atmosfera para a estação de Arouca. <https://www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie.grafica/obsHorariosHistorico.jsp>

Em cada dia do trabalho de campo, recolheram-se os gráficos relativos à variação diária da temperatura do ar e da humidade relativa. Os valores que constavam nos gráficos foram inseridos na ficha de inventário, de forma a estabelecer uma relação entre a hora da medição dos parâmetros hidrológicos na nascente com a temperatura e humidade relativa.

Aquando do trabalho de campo, registámos também o caudal debitado pela nascente. Foi quantificado através da aplicação do cálculo de uma média, uma vez que para cada nascente se anotaram três tempos, utilizando sempre um dos recipientes de $\frac{1}{2}$ L, 1 L ou de 5 L, conforme o volume de caudal (figuras 32 e 33). Os resultados finais são apresentados em L/s (litros por segundo). Posteriormente, transformámos para L/m (litros por minuto) de forma a uniformizar os resultados, possibilitando uma melhor compreensão dos valores.



Figura 32 - Recipientes utilizados na medição do caudal, $\frac{1}{2}$ L, 1L e 5L.



Figura 33 - Diferentes contextos de medições de caudal: A) Na nascente da mina das vinhas. B) Na nascente da mina da casa do Sr. Barbosa – duas bicas para consortes. C) Na nascente da mina do quintal do pedregal.

A par da utilização de equipamentos, recorreremos, em contexto de campo, à auscultação de habitantes e agricultores de faixas etárias mais velhas sobre a localização de nascentes na área de estudo, a qual se revelou fundamental para o desenvolvimento do nosso trabalho. De salientar que foram identificadas inúmeras nascentes que não constavam nas cartas militares analisadas anteriormente.

Na realização do trabalho de campo deparámo-nos com alguns obstáculos e constrangimentos. Durante o período temporal enfrentámos estados de tempo adversos com dias ventosos e com forte precipitação. Em alguns locais, existia densa vegetação e fracos acessos, os quais dificultaram a identificação das nascentes. No que se refere ao inventário, em algumas situações, devido à falta de registos orais, não foi possível preencher a totalidade dos campos existentes no formulário, tais como: caudal, proprietário, data das nascentes que possuíam mina. Por outro lado, a própria localização das nascentes, a maioria em terreno privado, implicou a ida aos mesmos locais várias vezes até ser possível contactar com os proprietários. Apesar das dificuldades descritas anteriormente, é de salientar que conseguimos uma boa representatividade de nascentes pelo território da área de estudo.

2.6.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A amostragem de águas subterrâneas é mais complexa do que a recolha de uma porção de água, o seu armazenamento num recipiente de amostragem e consequente análise. A amostragem deve ser representativa das condições *in situ* (Moore, 2002). Assim, os parâmetros hidrogeológicos de campo devem ser determinados diretamente no local de emergência das águas subterrâneas com recurso a medidores portáteis.

Neste sentido, procurámos determinar, no local de emergência, a temperatura, o pH e a condutividade elétrica da água, através da realização de medições em cada nascente, com recurso ao instrumento da marca Hanna modelo HI 9811-5 (figura 34) com as seguintes características:

- Temperatura (°C): medição por uma sonda com intervalo de temperatura entre 0,0 e 70,0 °C, resolução de 0 °C e precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$;
- pH (escala de Sorensen): utilização de eletrodo para o intervalo entre 0,0 e 14,0 pH, resolução de 0,1 pH e precisão de $\pm 0,1$ pH;
- Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$): eletrodo para o intervalo entre 0 e 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com resolução de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e precisão de $\pm 2\%$ G.C.

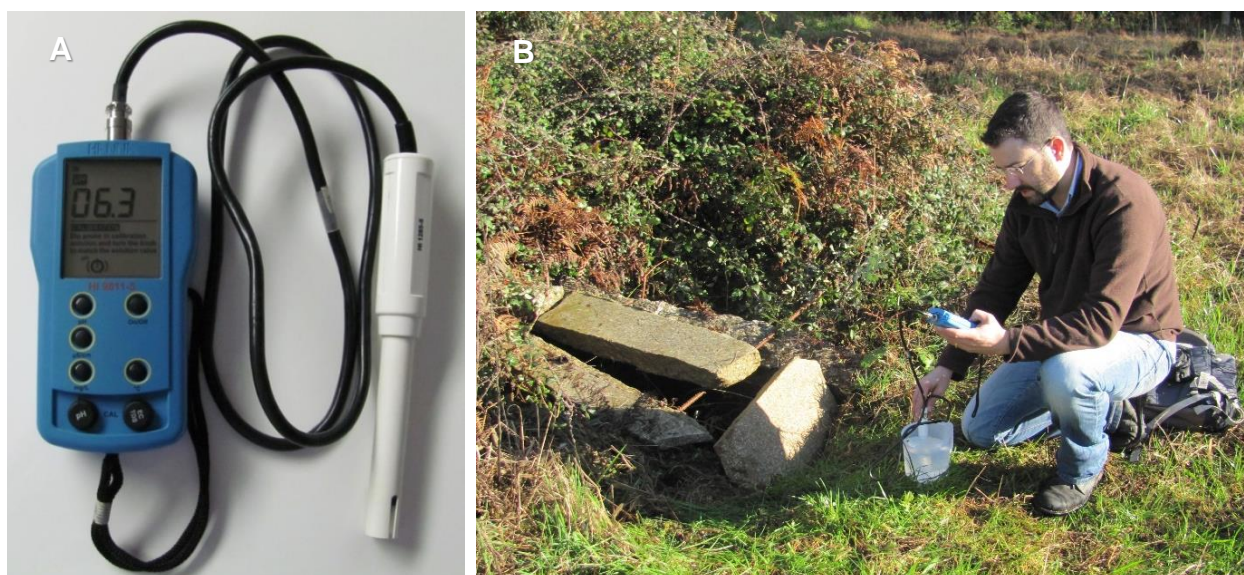


Figura 34 - Medição dos parâmetros físico químicos: A) Instrumento Hanna modelo HI 9811-5. B) Utilização do aparelho na medição dos parâmetros físico-químicos da água.

2.7 BASE DE DADOS ESPACIAL (GEODATABASE)

A aquisição, armazenamento e manutenção dos dados segue critérios de qualidade que garantem o rigor e consistência da base de dados ao longo do tempo (Gaspar et al., 2004).

Decorrente do pré-processamento de toda a informação necessária em formato *shape*, criou-se a BDE, na qual foram armazenados os dados de entrada e os que foram produzidos ao longo da investigação, mantendo-os organizados e sempre com o mesmo sistema de referência espacial. À BDE criada, atribuímos o nome “**HidroGeoPaiva**”.

A concretização desta BDE executou-se no *software* Arcgis – ArcCatalog 10.2 da ESRI® - Environmental Systems Research Institute, com estrutura *vetorial* e *raster*, o qual consiste numa ferramenta de gestão da informação que permite armazenar informação espacial e atributos no mesmo SGBD - Sistema de Gestão de Base de Dados, reunindo-se todos os dados espaciais da investigação.

A conceção desta BDE revelou-se fundamental para o armazenamento e organização da informação recolhida sobre as nascentes, proveniente da análise bibliográfica/documental e do levantamento de campo. A sua componente espacial permitiu otimizar a informação de carácter geográfico e, conseqüentemente, a análise e compreensão da distribuição do recurso. Esta ferramenta tem, ainda, a vantagem de permitir que os arquivos sejam movimentados com todas as suas extensões, o que evita a perda de dados.

Inicialmente, foram criados conjuntos de classes “*Feature Dataset*”, nos quais foram armazenadas, de forma estruturada, as “*Feature Class*”, compostas por elementos gráficos: pontos, linhas e polígonos.

Em seguida, importaram-se vários temas geográficos, como as divisões administrativas, a rede viária, rede hidrográfica, o edificado, a litologia, a topografia, o uso do solo, entre outros, acrescentando-se a criação de “*Feature Class*” para a posterior georreferenciação de elementos relativos ao estudo, nomeadamente, a localização das nascentes.

Ao nível das imagens *raster*, a informação convertida para este formato foi inserida na base de dados, em “*rastercatalog*”. Assim, facilitou-se o acesso para o utilizador pesquisar e investigar um determinado conjunto de dados.

Em cada “*Feature dataset*”, integraram-se dados que apresentam características temáticas específicas, independentemente da sua representação geométrica. Com o intuito de facilitar a leitura e a interpretação da estrutura da BDE, elaborámos um modelo concetual, no qual se esquematiza o processo inicial e os dados agregados (figura 35).

Geodatabase HidroGeoPaiva	Feature dataset	Feature data class	Entidades
	Limites Administrativos	Espanha Portugal CIM Tâmega Distrito Concelhos Limítrofes Concelho Freguesia	Polígonos
	Topografia	Altimetria Pontos de cota	Linhas Pontos
	Rede hidrográfica	Rios Principais Portugal Rios CPAiva Rede hidrográfica CPAiva	Linhas
	Inventario Nascentes área de estudo	Inventário Nascentes 2014 Área de estudo	Pontos Polígonos
	Indicadores de recursos hídricos subterrâneos	Inventário déc. 1990 Inventário déc 1970 Inventário déc 1940	Pontos
	Análise e cruzamento da informação	Geologia/Litologia Declives Exposição das Vertentes Uso do Solo	Polígonos Raster Raster Polígonos
	Geo Percurso BTT	Trilho das Nascentes Informações percurso	Linhas Pontos
	Rastercatalog	World Altc Península Ibérica MDT Península Ibérica SHD Concelho MDT Concelho SHD Área de estudo MDT Área de estudo SHD Carta Geologia 13B	Raster
	Ortofotomapas	Nº da imagem	Raster

Figura 35 – Estrutura elaborada no ArcCatalog da ESRI®, com as *Feature dataset* e as *Feature data class* dos temas criados.

Decorrido este processo, inserimos e processámos os dados recolhidos no trabalho de campo na BDE, em “Inventário das nascentes 2014”. Estes dados, em conjunto com a restante informação da BDE, permitiram a sobreposição e identificação da distribuição das nascentes na análise em estudo. A estruturação desta BDE facilita a observação às diversas características do território, permitindo interpretar espacialmente a localização da distribuição dos nascentes. Permite visualizar por um lado, a posição geográfica e por outro, toda a informação reunida durante a investigação e correspondente a esse local. É, ainda, possível tomar conhecimento das áreas que pela conjunção de determinadas características, podem ser consideradas suscetíveis de contaminações.

Na construção da BDE operacionalizámos um dos atributos do “Inventário das nascentes 2014” com o formato *raster*, possibilitando assim o carregamento de uma fotografia da nascente. Quando se analisa a informação respeitante a uma determinada nascente, é possível, através de um clique e da visualização da fotografia, contextualizá-la (figura 36).

A utilização desta BDE está organizada de forma a contribuir para um melhor ordenamento do território, preservação e proteção da mesmo, auxiliando na gestão das nascentes, ao nível do consumo humano, da proteção florestal, da agricultura, do turismo e da monitorização das nascentes para possíveis contaminações na área de estudo.

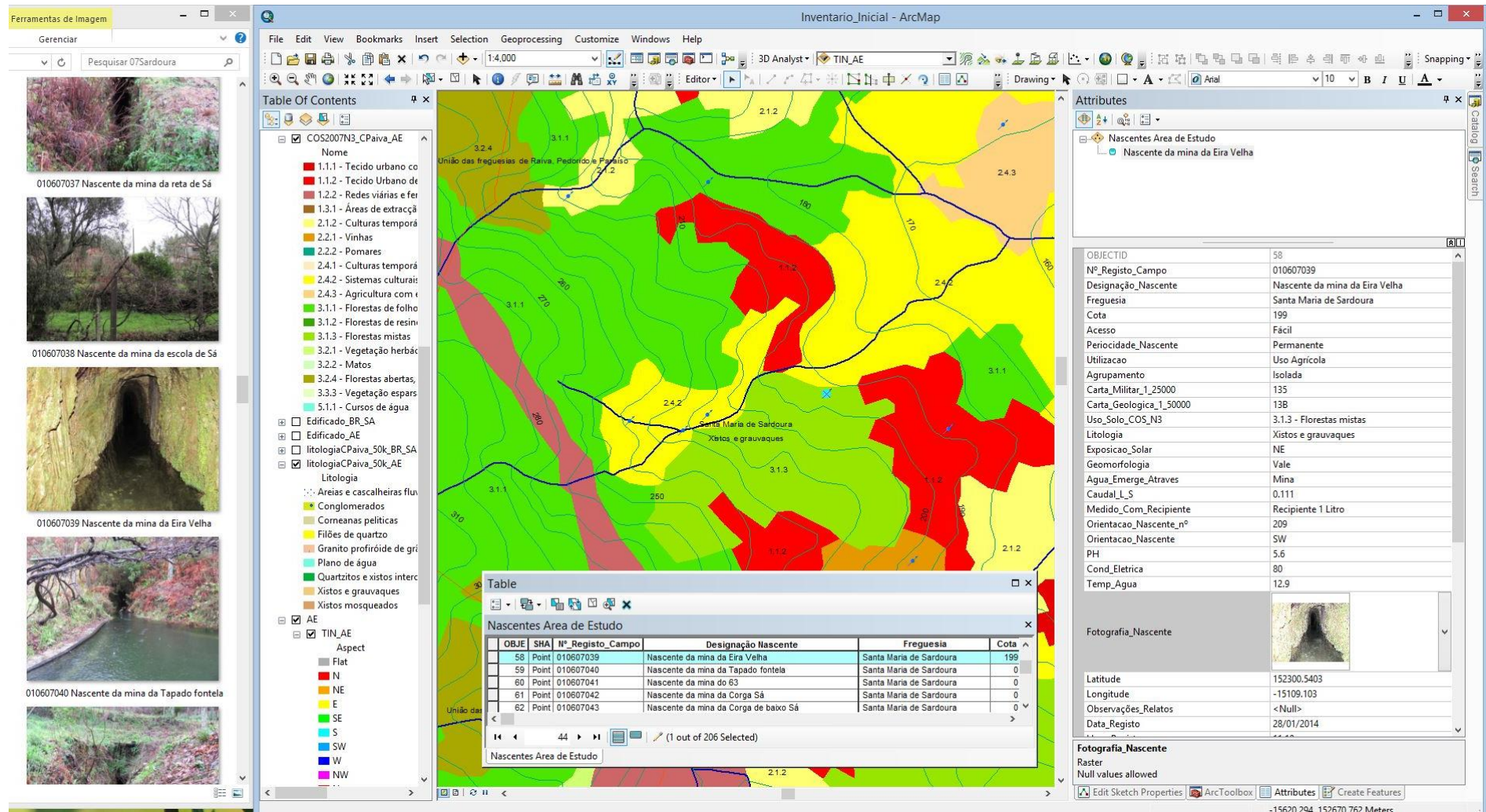


Figura 36 – Funcionalidade da BDE como plataforma de trabalho e análise de dados.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3 RESULTADOS

3.1 DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM CASTELO DE PAIVA

Nesta fase da dissertação, efetuamos uma breve análise à distribuição dos indicadores considerados na localização de recursos hídricos subterrâneos no concelho de Castelo de Paiva, de acordo com as informações obtidas na pesquisa bibliográfica e cartográfica.

O levantamento bibliográfico, relativo aos pontos indicadores de recursos hídricos subterrâneos foi complementado e confirmado pela análise cartográfica, nomeadamente, de cartas militares das décadas de 1940, 1970 e 1990 e de ortofotomapas. Deste modo, foram inventariados nascentes, poços, chafarizes/fontes, poços com engenho e tanques, conforme dados da tabela 3.

Tabela 3 – Pontos indicadores de recursos hídricos subterrâneos em Castelo de Paiva conforme o levantamento de campo das décadas de 1940, 1970 e 1990.

Indicadores considerados na localização de recursos hídricos subterrâneos no concelho de Castelo de Paiva				
Indicadores existentes nas cartas militares	Década de 1940	Década de 1970	Década de 1990	Total
Nascentes	45	0	5	50
Poços	21	29	11	61
Chafarizes / Fontes	12	8	36	56
Poços com Engenho	38	0	54	92
Tanques	102	90	200	392
Total	218	127	306	651

Da observação e análise das cartas militares, foram vetorizados 651 pontos. Destes, destacam-se os tanques, com um total de 392 pontos vetorizados. Seguem-se os poços com engenho, 92, os poços, 61, chafarizes/fonte, 56, e as nascentes, 50.

Sendo a água dos tanques proveniente, principalmente, de nascentes, poços e furos, este indicador, em elevado número, revelou-se bastante útil para a posterior localização das nascentes na área de estudo. No caso das nascentes vetorizadas, só a carta militar da década de 1940 é que regista um número significativo de nascentes, 45. Na carta militar da década de 1970 não se observa qualquer registo e na carta militar da década de 1990, apenas 5.

Não obstante verificar-se um acréscimo acentuado de pontos registados na carta militar da década de 1990, face à mais antiga, a de 1940, pelo número de pontos identificados pelos militares nas décadas de 1970 e 1990, depreende-se que não foram tidos em conta os levantamentos de campo anteriores, havendo diminuição significativa dos registos na década da 1970 em quase todos os indicadores e, no caso das nascentes e dos poços com engenho, ausência de registos. No caso dos tanques, chafarizes/fontes e poços com engenho, existem pontos que desaparecem na carta da década de 1970 e que reaparecem na da década de 1990 (gráfico3).

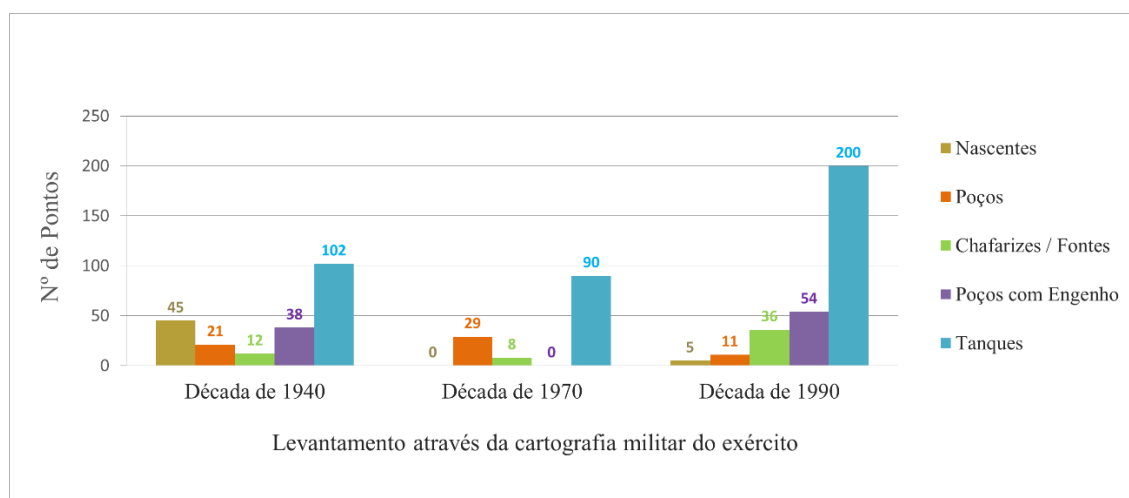


Gráfico 3 - Distribuição dos pontos indicadores de recursos hídricos subterrâneos em Castelo de Paiva conforme o levantamento militar das décadas de 1940, 1970 e 1990.

A figura 37 apresenta a distribuição espacial dos pontos indicadores de recursos hídricos subterrâneos em Castelo de Paiva, de acordo com o levantamento militar realizado nas três décadas já enunciadas.

Em termos espaciais, podemos verificar que o levantamento de campo realizado na década de 1940 foi concentrado, sobretudo, no setor localizado a nordeste do concelho, abrangendo a União de Freguesias de Sobrado e Bairros, existindo poucos registos na maior parte da superfície do concelho.

No levantamento realizado nas décadas de 1970 e 1990, a área abrangida pelo registo de pontos estende-se a todo o concelho, apesar de, no caso da década de 1970, o número de pontos identificados ser, claramente, menor que os restantes. O levantamento mais recente, da década de 1990, evidencia uma maior concentração de pontos por todo o concelho, que se deve, como já referido, ao aumento exponencial do número de tanques sinalizados. Este dado poderá estar relacionado com o fato de os militares, nesta década, terem recorrido ao apoio de ortofotomapas para marcação dos pontos.

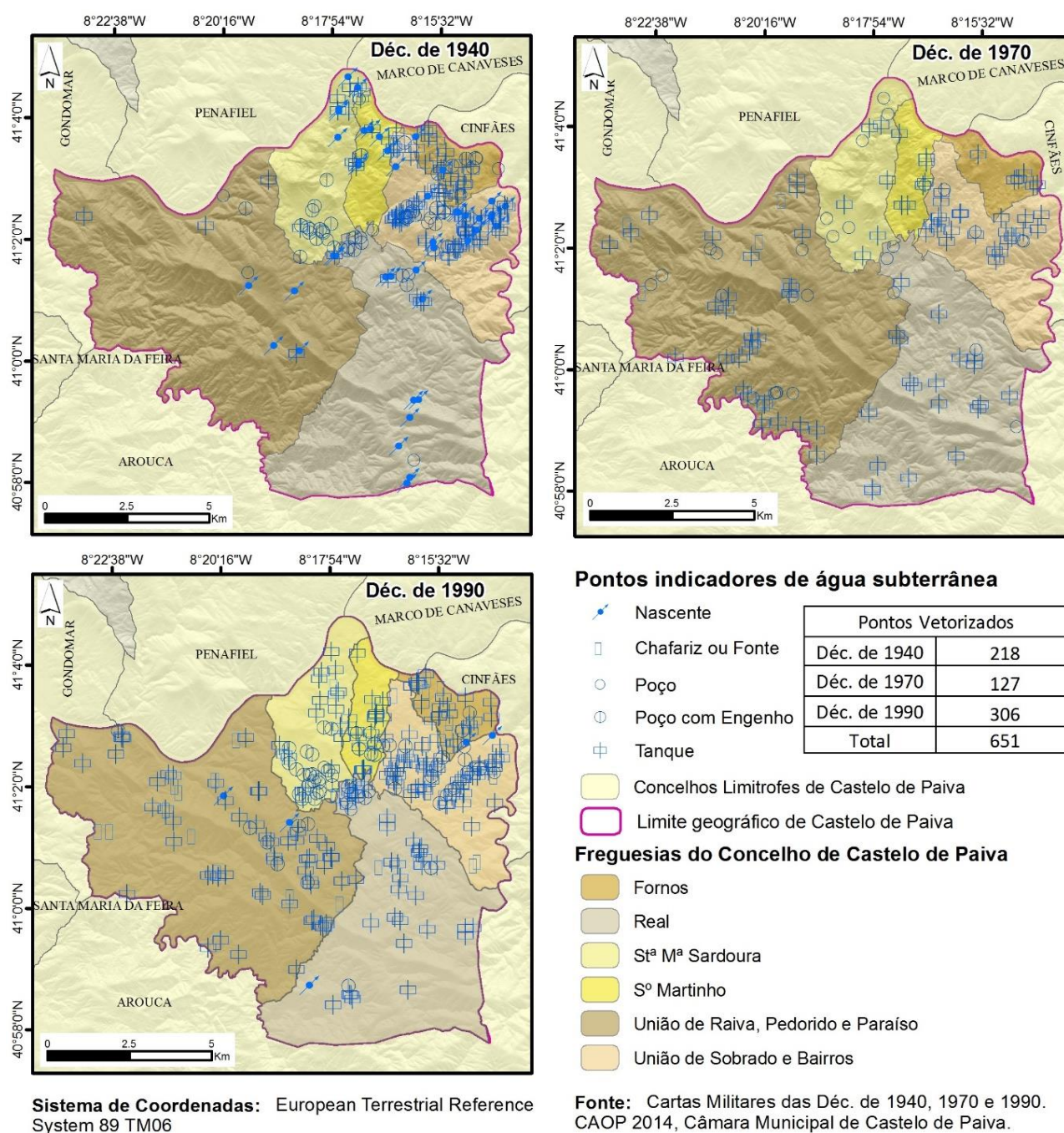


Figura 37 – Distribuição espacial dos pontos indicadores de água subterrânea em Castelo de Paiva.

3.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO INVENTÁRIO NA ÁREA DE ESTUDO

No seguimento da apresentação da ficha de inventário e da metodologia aplicada no seu preenchimento, apresentamos, em seguida, os resultados do inventário implementado para a área de estudo.

Conforme referido anteriormente na metodologia, na fase de trabalho de campo direccionámos a nossa investigação para as nascentes, enquanto locais de emergência de águas subterrâneas.

Com base nos dados recolhidos e sua integração num SIG, para os parâmetros analisados, optou-se pela representação da informação através de símbolos, círculos proporcionais, bem como a aplicação da ferramenta de interpolação IDW (Peso do inverso da distância), a qual nos permite a obtenção de superfícies estimadas com base nos valores recolhidos.

Esta ferramenta do *software ArcGis 10.2* assenta na dependência espacial, ou seja, quanto mais próximos os valores, maior será a correlação espacial. A superfície corresponde a uma grelha regular de *pixéis*, sendo que quanto mais próximos estes estiverem da célula com o valor conhecido, maior será a correlação entre eles.

3.2.1 NASCENTES INVENTARIADAS

Iniciamos a apresentação dos resultados com a quantificação das nascentes inventariadas, num total de 206 (figura 38). De referir que, em contexto de trabalho de campo, identificou-se um número significativo de nascentes, 181 (87,9%), que não estavam referenciadas nos documentos previamente analisados. Apenas 25 (12,1%) das nascentes foram identificadas em fontes documentais/cartográficas (gráfico 4).

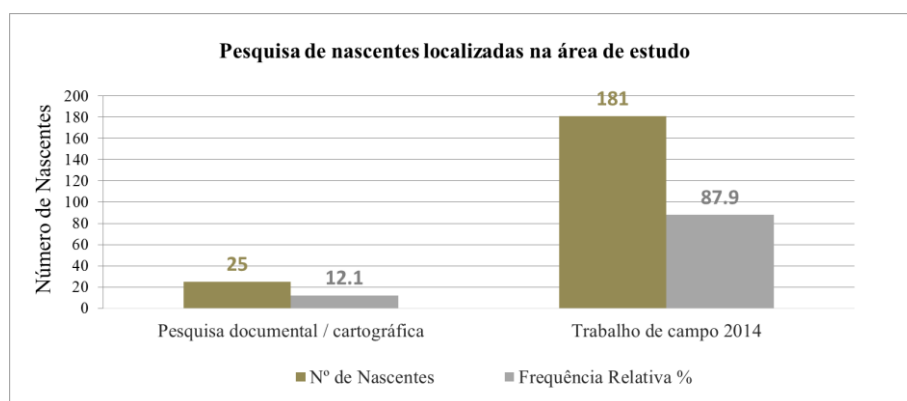


Gráfico 4 - Pesquisa de nascentes localizadas na área de estudo

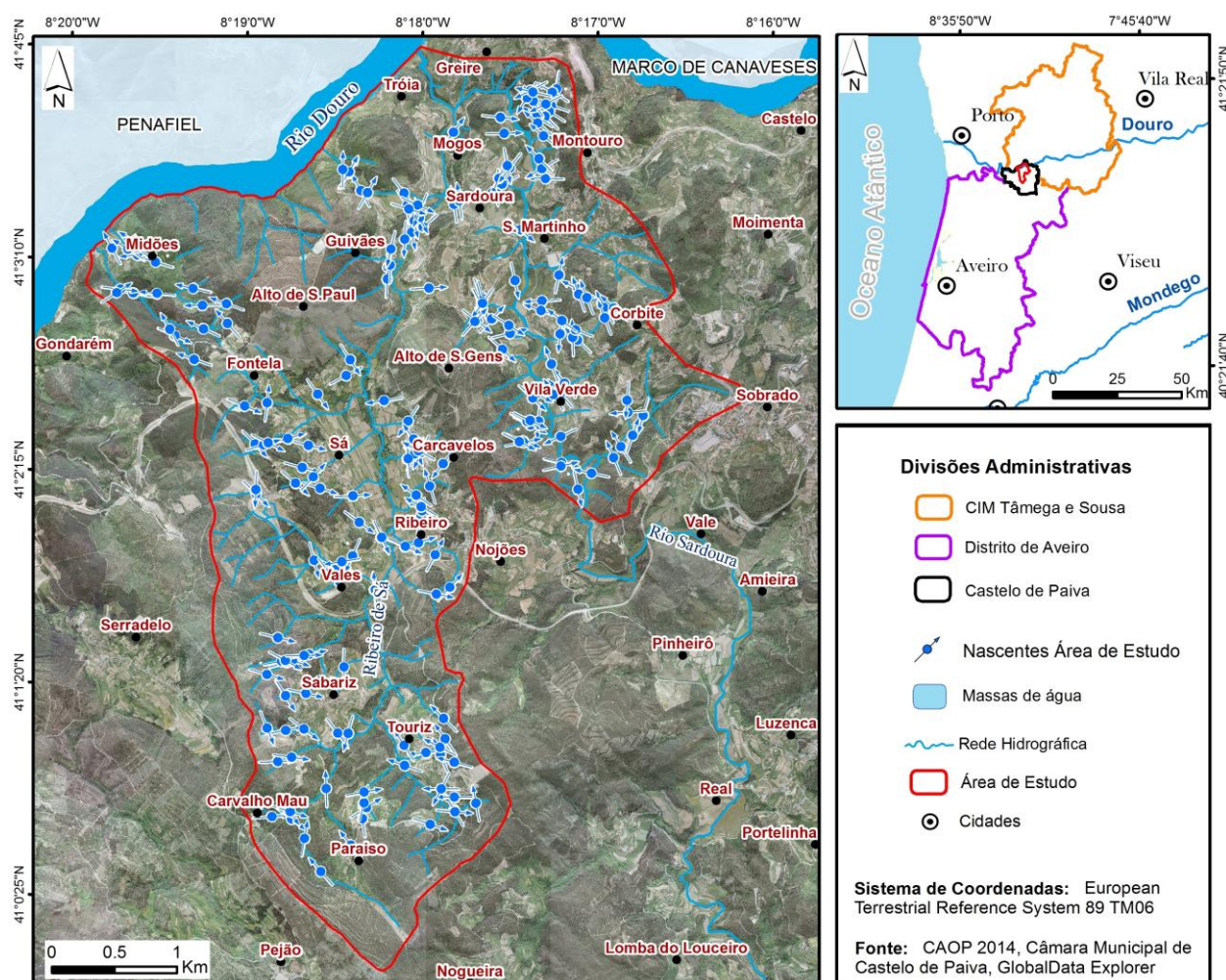


Figura 38 – Mapa das nascentes inventariadas na área de estudo.

De uma forma geral, constata-se que as nascentes se localizam nas vertentes graníticas e xistosas da ribeira de Sá e do rio Sardoura, na sua maioria, próximas das linhas de água que drenam para o Rio Douro.

Decorrente da análise do inventário, no que se refere à questão do proprietário, pode concluir-se que a grande maioria das nascentes pertencem ao domínio privado. Apenas são da propriedade da Câmara Municipal de Castelo de Paiva as nascentes, cuja água está a ser utilizada em fontanários e tanques/lavadouros públicos para abastecimento à população.

3.2.2 HIPSOMETRIA DA LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

A informação de carácter hipsométrico foi classificada em seis classes com intervalos de 90m, excetuando-se a última classe, de 450 a 518m, sendo a cota mais alta da área de estudo (figura 39).

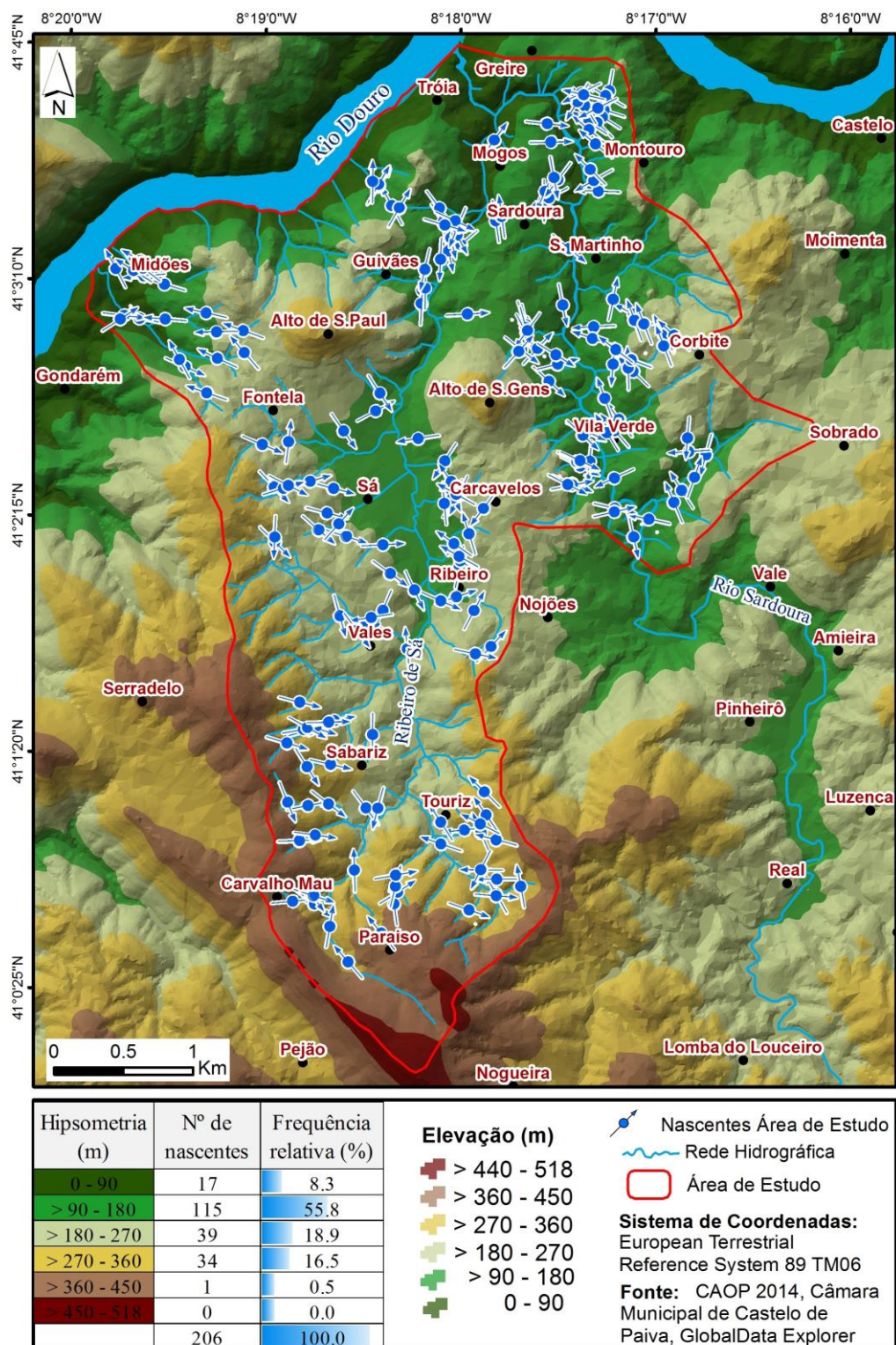


Figura 39 - Localização das nascentes por classes hipsométricas

Em termos altimétricos, constatámos que um número significativo de nascentes, 115 (55,8%), situa-se no intervalo de 90 a 180m. No intervalo de 180 a 270m e nas classes entre 270 e 360m, a localização das nascentes é relativamente uniforme, 39 e 34 nascentes respetivamente, seguindo-se 17 (8,3%) no intervalo de 0 a 90m. De salientar que na classe com intervalo de 360 a

450m, localiza-se apenas uma nascente e na classe com intervalo superior a 450m não temos registo de nascentes inventariadas. Da análise realizada, podemos inferir que a localização das nascentes tende a surgir nas cotas de 90 a 180m.

O gráfico 5 representa a dispersão das nascentes por altitude, cujos valores vão de encontro à informação anteriormente descrita. Verifica-se que a concentração das nascentes se localiza a meia encosta, diminuindo o seu número no topo e para as cotas mais baixas.

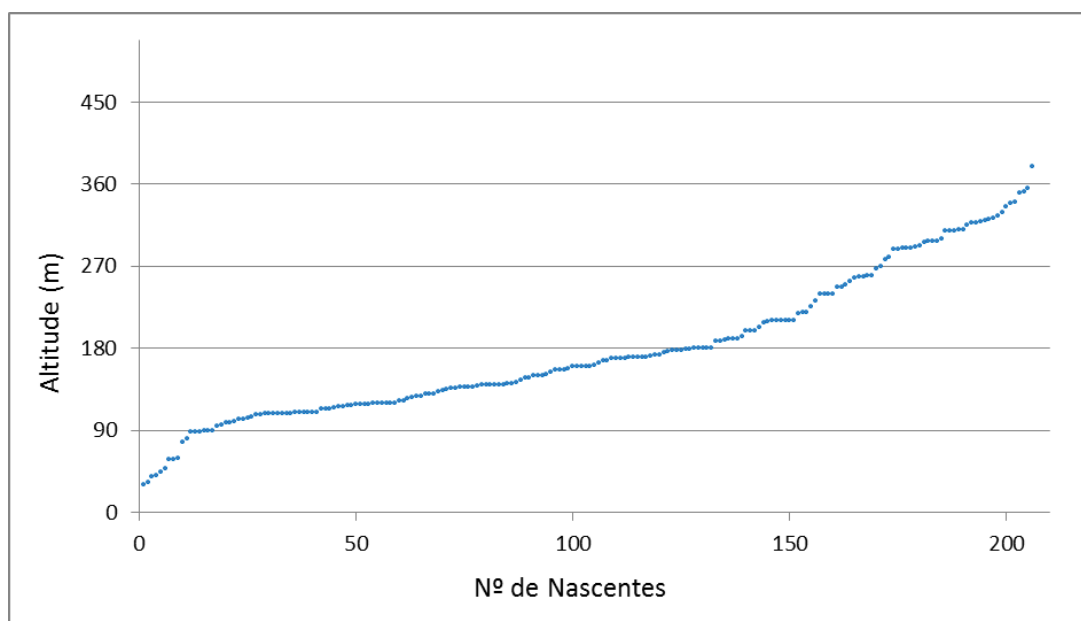


Gráfico 5 - Dispersão das nascentes por altitude.

3.2.3 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DAS NASCENTES

Associado diretamente à questão da propriedade, procedemos à análise do uso que as nascentes têm neste espaço (figura 42). Verificamos que a água proveniente das nascentes é, na maioria dos casos, 130 (63,1%) utilizada para o desenvolvimento de atividades agrícolas, como a rega, ainda muito enraizada nesta área rural.

Os agricultores aproveitam os percursos da água proveniente das nascentes, como regos e levadas, muitos deles criados pelos seus antepassados, e vão assegurando, com zelo, a sua manutenção (figura 40). Conforme constatado no trabalho de campo, alguns destes percursos, da nascente até às explorações agrícolas, chegam a ter uma extensão de cerca de um quilómetro, aproveitando o desnível do terreno para a condução da água.



Figura 40 - A) Nascente da mina de Vale de Maria Esquerda em Sabariz. B) Ao fundo, tanque que armazena a água da nascente. C) Observação do caudal da nascente a 09/03/2014 pelas 8:15. D) Percurso da água proveniente do tanque dirigida aos terrenos agrícolas (levada de aproximadamente 1km).

Segue-se a utilização de 16 (7,8%) nascentes para abastecimento de fontanários e tanques/lavadouros públicos e 13 (6,3%) são conduzidas para habitações, para consumo humano. Com o abastecimento público das habitações, denota-se, pelo número de nascentes com utilização para consumo humano, que o recurso natural deixou de ser a principal fonte de abastecimento da população. Em muitos dos fontanários existentes na área de estudo, encontram-se avisos de “água não controlada”, colocados pela Divisão de Obras Municipais e Ambiente do município, de acordo com o Dec. Lei nº 306/2007 (figura 41). Esta informação revela que as nascentes não estão sujeitas a um plano de análise periódica, o que não implica que esteja imprópria para consumo.



Figura 41 - Informação colocada junto aos fontanários municipais.

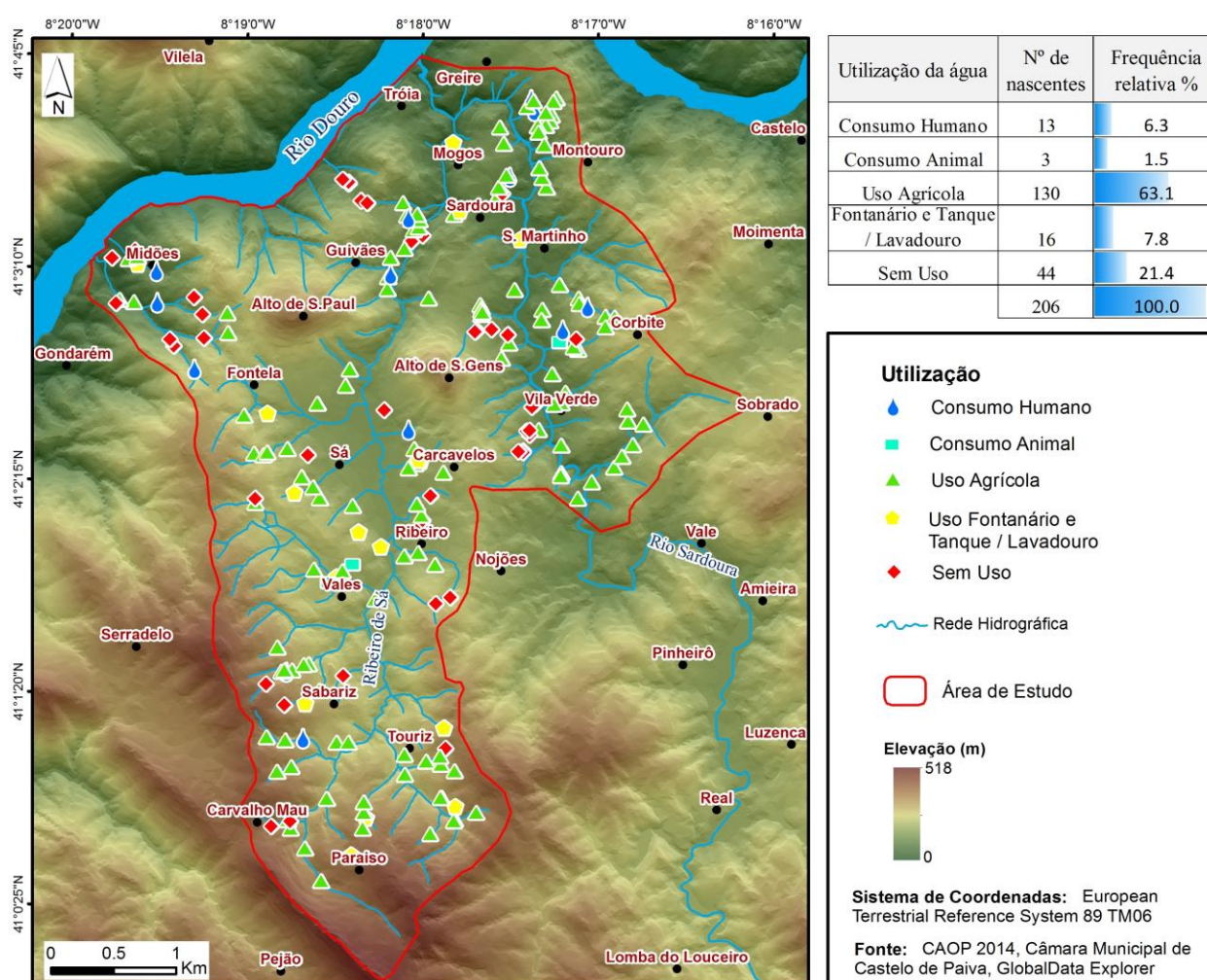


Figura 42 - Utilização da água proveniente das nascentes.

De salientar que apenas 3 nascentes são utilizadas para consumo animal e 44 (21,4%) nascentes não estão a ser aproveitadas para qualquer fim. Não se verifica, portanto, qualquer uso industrial.

Tendo em conta que existe um elevado número de nascentes sem qualquer uso, e dada a importância global da água como um recurso natural fundamental para a sobrevivência da humanidade, consideramos que estas nascentes têm um enorme potencial enquanto pontos de emergência de água subterrânea, o qual poderia ser melhor aproveitado e valorizado.

3.2.4 O CONTEXTO GEOLÓGICO DA EMERGÊNCIA DA ÁGUA

Prosseguindo na análise dos resultados do inventário, de acordo com a emergência da água, é de referir que a esmagadora maioria emerge à superfície conduzida por minas, 179 (86,9%) de 206 nascentes inventariadas. Seguem-se 21 (10,2%) nascentes que emergem através de substrato rochoso, 3 (1,5%) através do solo e 3 (1,5%) em áreas alagadas (figura 43).

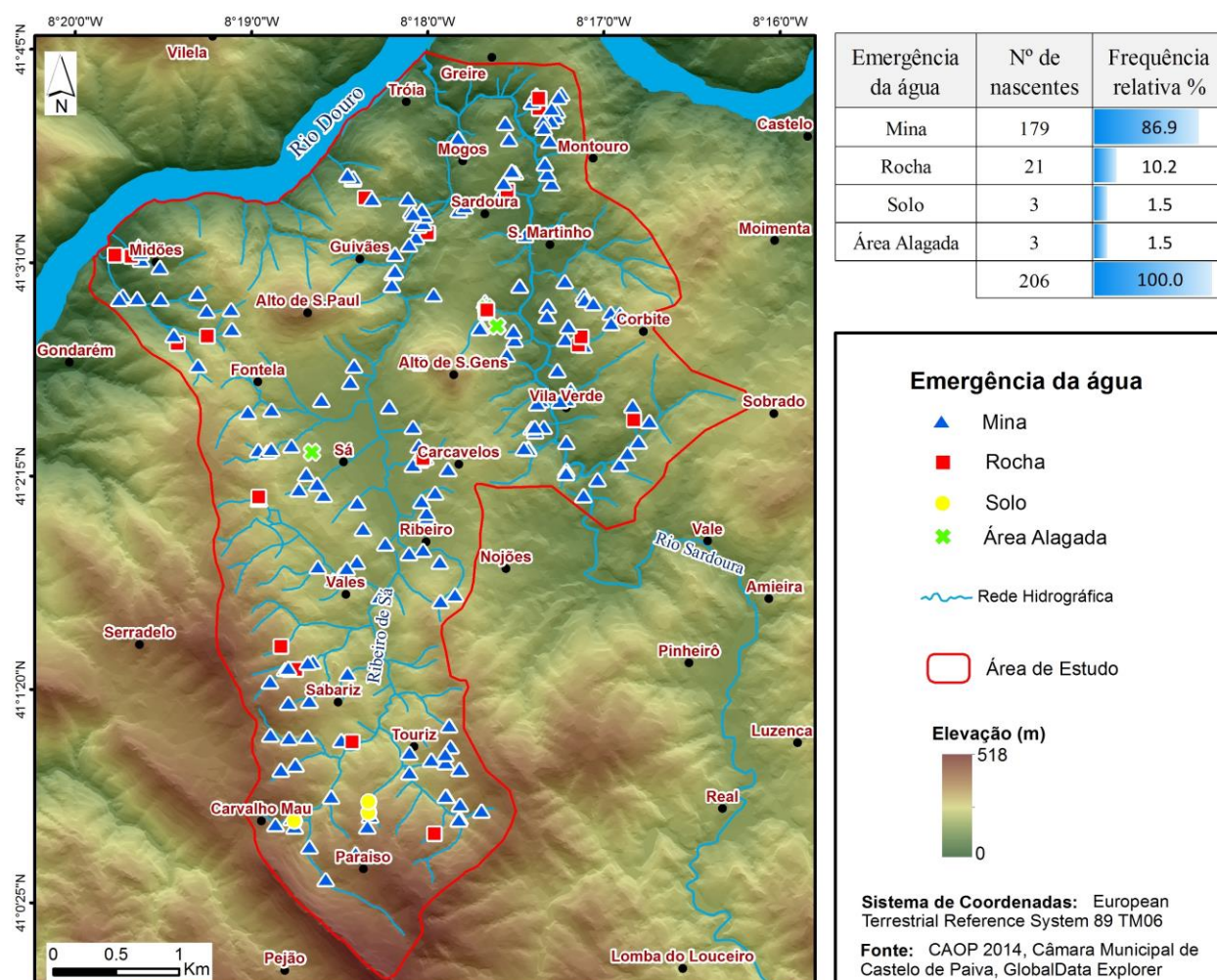


Figura 43 – O contexto geológico da emergência da água das nascentes.

O concelho de Castelo de Paiva esteve, no passado próximo, ligado à extração mineira (Rodrigues, 2009), com uma forte empregabilidade nas minas por parte da população de sexo

masculino, pelo que, quando verificámos o elevado número de minas de água na área de estudo, associámos este fato ao conhecimento e experiência dos homens nesta área, recorrendo, nas explorações agrícolas, à escavação de minas em nascentes, para aumentar o volume dos caudais.

3.2.5 AMBIENTE GEOMORFOLÓGICO

No que concerne ao ambiente geomorfológico, durante a observação realizada, verificámos que a localização das nascentes se inseria em encostas, vales e talvegues. Neste sentido, analisando os dados apresentados na figura 44, verificamos que a maioria das nascentes, 153 (74,3%) localiza-se num nível intermédio, nas encostas, localizando-se as restantes num nível de base de vertente, 49 (23,8%) nos vales e 4 (1,9%) nos talvegues, nas proximidades do fundo dos vales das linhas de água.

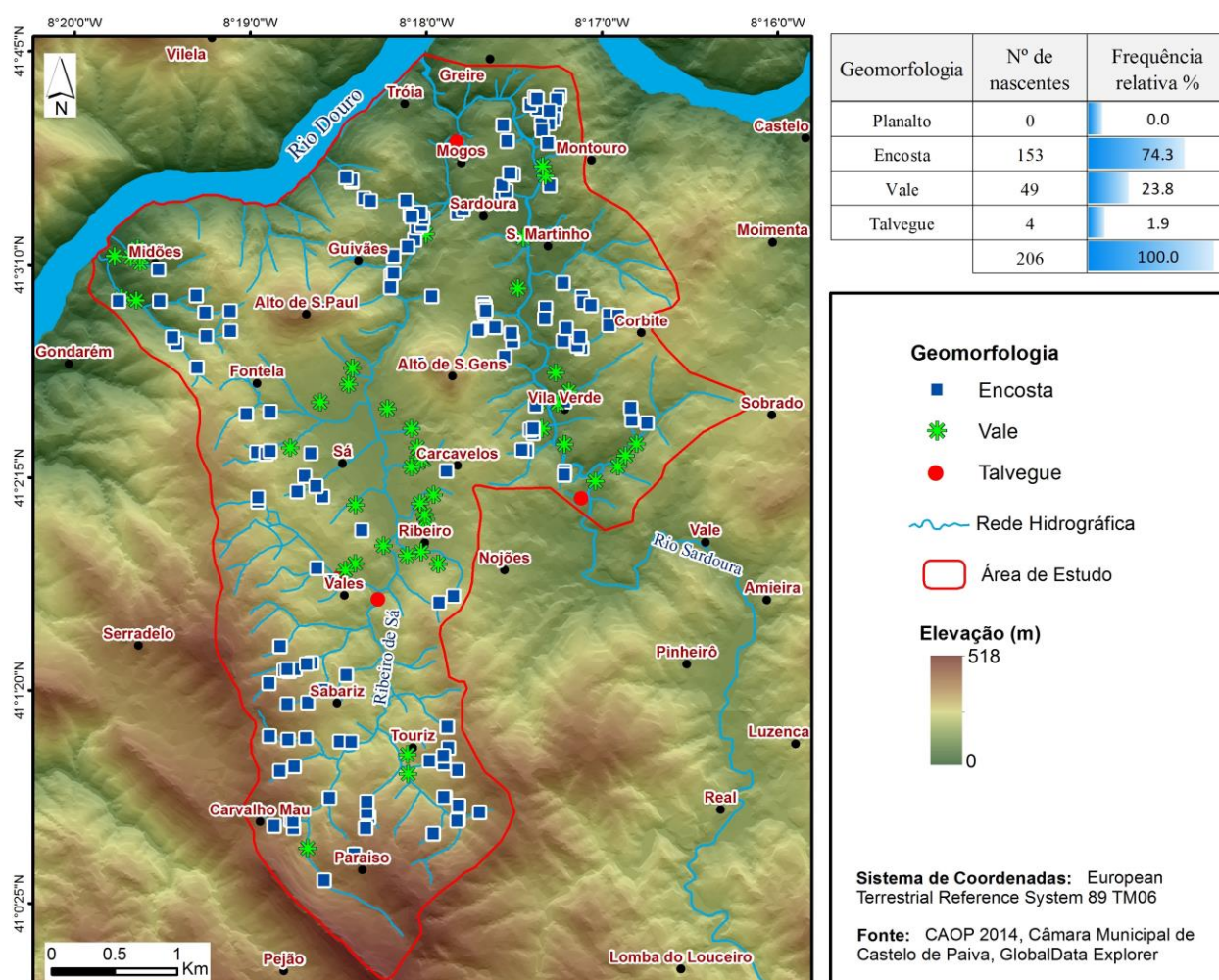


Figura 44 - Geomorfologia dos locais das nascentes.

3.2.6 PROPRIEDADES ORGANOLÉTICAS E CAUDAL

Em todas as nascentes, anotámos informações relativas ao aspeto da água: cor, cheiro e turbidez. Verificámos que eram inodoras, incolores e límpidas, à exceção de uma nascente, a do Souto, a qual, para além de turva, apresentava uma cor acastanhada e um odor forte.

Das 206 nascentes, só em 107 houve condições para medir o caudal (figura 45). A medição foi realizada, *in situ*, com recipientes de ½ litro, 1 litro e 5 litros, conforme a exigência do caudal. Das medições realizadas, apurou-se que os caudais variavam entre 1,74 L/min e 150 L/min.

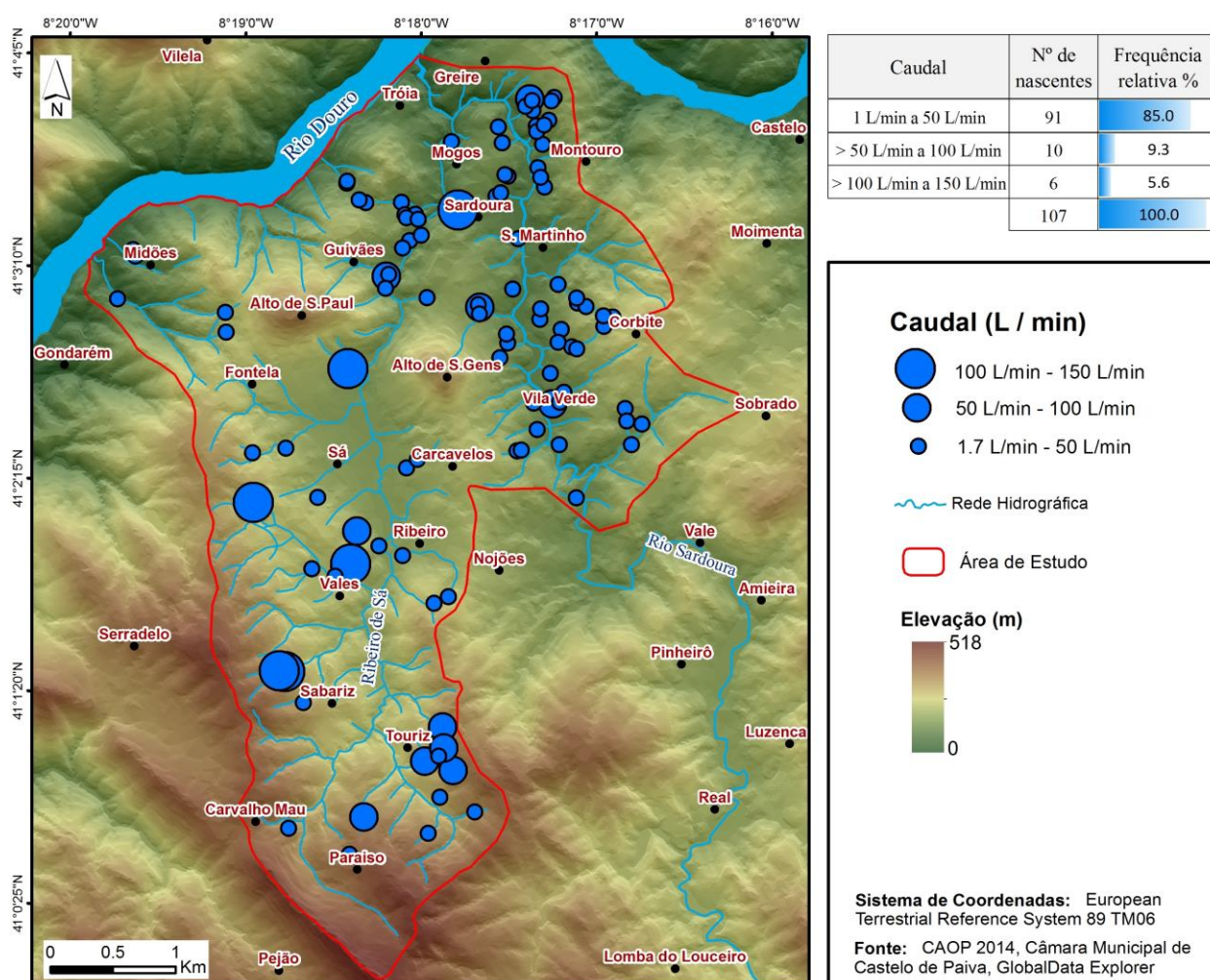


Figura 45 – Caudal das nascentes.

Na tabela da figura 45 organizámos os valores do caudal da água em três classes: 1 L/min a 50 L/min; acima de 50 L/min a 100 L/min e superior a 100 L/min. A maioria das nascentes, 91 (85%) apresentavam um caudal mais reduzido, cujos valores se inserem na primeira classe. Na

classe intermédia incluem-se os caudais de 10 nascentes (9,3%) e na classe com valores superiores a 100 L/min, inserem-se 6 nascentes (5,6%).

3.2.7 TEMPERATURA DO AR E HUMIDADE RELATIVA

Como já enunciado anteriormente, o trabalho de campo desenvolveu-se no período de Janeiro a Março de 2014. Nesta fase, retiraram-se do *site* do Instituto Português do Mar e da Atmosfera os valores dos gráficos de observação referentes à temperatura instantânea do ar e à humidade relativa para todos os dias em que houve registos de trabalho de campo (tabelas 4 e 5).

Tabela 4 - Valores de Temperatura do Ar, obtidos no *site* do Instituto Português do Mar e da Atmosfera para a estação de Arouca <https://www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie.grafica/obsHorariosHistorico.jsp>

Temperatura do Ar °C (Instantâneo) Estação de Arouca				
Dia dos registos	9 Horas	12 Horas	16 Horas	20 Horas
12 – Janeiro	15.8	14.0	10.8	9.0
13 – Janeiro	4.5	10.0	9.4	9.2
19 – Janeiro	3.0	8.2	9.0	6.2
22 – Janeiro	10.0	10.8	11.5	6.0
23 – Janeiro	1.0	8.2	12.6	8.2
24 – Janeiro	3.0	9.0	11.0	9.8
26 – Janeiro	9.2	11.5	11.9	11.1
27 – Janeiro	Sem registo	Sem registo	Sem registo	Sem registo
28 – Janeiro	Sem registo	Sem registo	Sem registo	Sem registo
02 – Fevereiro	3.0	9.8	10.0	7.2
02a – Fevereiro	3.0	9.8	10.0	7.2
15 – Fevereiro	7.0	9.7	10.4	6.2
15a – Fevereiro	7.0	9.7	10.4	6.2
16 – Fevereiro	0.5	9.6	10.6	5.0
20 – Fevereiro	11.0	13.2	10.9	9.2
22 – Fevereiro	8.0	12.4	13.5	7.5
23 – Fevereiro	10.5	13.4	15.9	12.0
25 – Fevereiro	11.0	12.0	9.2	9.5
27 – Fevereiro	11.0	12.8	15.5	8.5
28 – Fevereiro	10.5	12.1	11.4	9.8
04 – Março	7.5	10.3	10.2	10.9
05 – Março	10.5	13.0	16.0	11.2
07 – Março	7.5	20.0	22.0	12.8
08 – Março	9.0	21.5	23.5	12.5
09 – Março	17.0	18.5	21.5	15.0

A informação relativa à temperatura do ar foi proveniente da Estação de Arouca, o que poderá envolver alguma margem de erro, sendo que as águas subterrâneas com circulação pouco profunda acompanham a evolução das temperaturas médias mensais do ar, de tal forma que a sua medição deve ser realizada *in situ*, diretamente no ponto de emergência.

Por conseguinte, apresentamos um valor médio relativo a estes parâmetros, estabelecendo-se uma relação com a temperatura da água que foi medida. Aquando da medição dos parâmetros das nascentes, a média da temperatura do ar corresponde a 11,77°C, com o valor mínimo 0,5°C e máximo de 23,5°C. Relativamente à humidade relativa, o valor médio correspondia a 70,95%, existindo uma variação entre 25% e 96%.

Tabela 5 – Valores de Humidade Relativa obtidos no site do Instituto Português do Mar e da Atmosfera para a estação de Arouca <https://www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie.grafica/obsHorariosHistorico.jsp>

Humidade Relativa % (Instantâneo) Estação de Arouca				
Dia dos registos	9 Horas	12 Horas	16 Horas	20 Horas
12 – Janeiro	50	74	88	92
13 – Janeiro	95	76	80	85
19 – Janeiro	90	68	66	88
22 – Janeiro	90	68	60	89
23 – Janeiro	95	82	70	89
24 – Janeiro	95	90	82	88
26 – Janeiro	94	94	92	92
27 – Janeiro	Sem registo	Sem registo	Sem registo	Sem registo
28 – Janeiro	Sem registo	Sem registo	Sem registo	Sem registo
02 – Fevereiro	94	70	62	73
02a – Fevereiro	94	70	62	73
15 – Fevereiro	92	75	60	86
15a – Fevereiro	92	75	60	86
16 – Fevereiro	96	65	58	85
20 – Fevereiro	88	88	81	80
22 – Fevereiro	92	70	65	88
23 – Fevereiro	66	53	37	59
25 – Fevereiro	80	74	85	79
27 – Fevereiro	92	91	71	89
28 – Fevereiro	90	76	75	80
04 – Março	89	80	90	92
05 – Março	82	69	62	84
07 – Março	95	48	50	82
08 – Março	95	42	25	66
09 – Março	34	32	32	51

3.2.8 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA

O inventário hidrogeológico, geralmente, é acompanhado pela realização de medições dos parâmetros físico-químicas da água, como a de pH, de condutividade elétrica e da temperatura, o que possibilita uma caracterização inicial breve dos principais tipos de circulação subterrânea (Carvalho et. al. 2005). Neste âmbito, permite, ainda, a identificação do comportamento das nascentes.

Assim, as medições dos parâmetros físico-químicos, foram efetuadas *in situ* com o medidor portátil, já referido anteriormente, cuja sonda foi colocada num recipiente com água

colhida no local de emergência. Foi analisada a maioria das nascentes inventariadas (201), excetuando-se 4, que não reuniam condições de recolha de água.

3.2.8.1 TEMPERATURA

A água das nascentes na área de estudo apresentava uma temperatura média de 14,32°C, com variação entre 11,1°C e 17,6°C. Conforme se pode observar na figura 46, organizámos os valores da temperatura da água em três classes. A maioria das nascentes, 127 (63,2%) enquadraram-se na classe em que as temperaturas variam acima de 13°C até 15°C; a classe em que as temperaturas são superiores a 15°C, enquadra 44 nascentes (21,9%) e em 30 nascentes (14,9%) a temperatura da água varia entre os 11°C e 13°C.

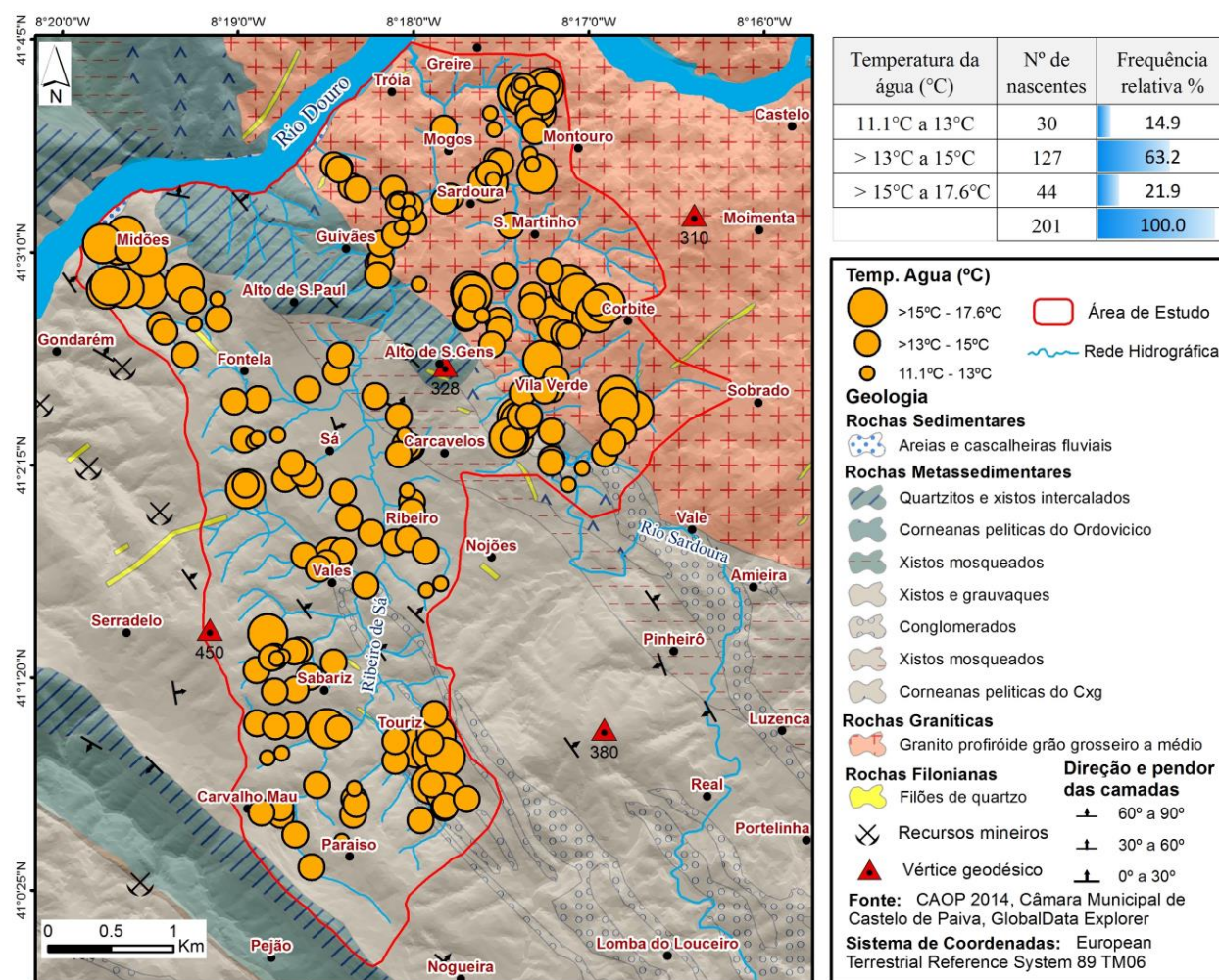


Figura 46 - Temperatura da Água das Nascentes.

Como era expetável, verifica-se que existe uma diferença da média da temperatura da água em relação à média da temperatura do ar. A variação que ocorre na temperatura da água das nascentes, talvez possa ser justificada pelo circuito hidráulico subterrâneo, ser mais ou menos profundo, consoante a nascente.

A grandes profundidades a temperatura da água sofre influência do gradiente geotérmico, aumentando cerca de 1 °C por cada 33 metros de profundidade (Custódio & Llamas, 1996).

É, ainda, de referir que todas as nascentes abrangidas por este estudo apresentam temperatura de emergência inferior a 25 °C, sendo todas elas consideradas hipotermiais segundo a classificação de Fraústo da Silva & Vaz (1988). Assim sendo, é de supor que todas as nascentes estejam associadas a circulação pouco profunda.

3.2.8.2 PH

Rogers (2003) afirma que a medição do pH é fundamental em todas as investigações hidrológicas, uma vez que a compreensão do seu comportamento é determinante para o estudo dos processos de contaminação e de interação água – rocha, revelando-se um parâmetro essencial em modelação hidrogeoquímica.

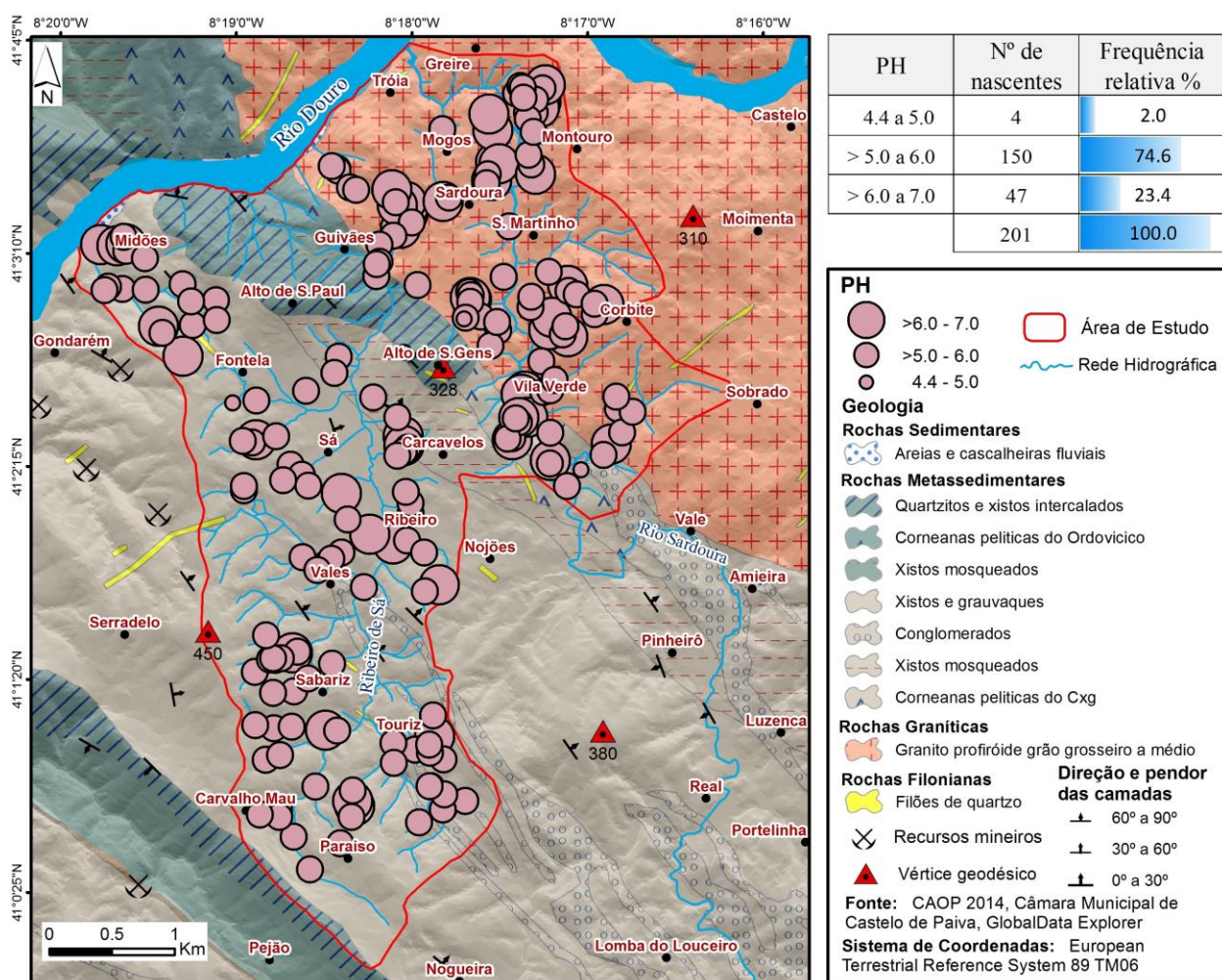


Figura 47 – PH da água das nascentes.

Os registos de pH variaram entre 4,4 e 7,0, o que aponta para a caracterização das nascentes com pH ácido. Não se verifica, portanto, valores de pH alcalinos. Apenas uma nascente foi identificada com água de pH neutro (pH 7,0).

Tal como procedemos, anteriormente, apresentamos os valores do PH distribuídos em três classes: de 4,4 a 5,0, >5,0 a 6,0 e >6,0 a 7,0. A maioria das nascentes, 150 (74,6%) enquadram-se na classe em que os valores de pH são intermédios. Na classe de valores mais baixos, encontram-se apenas 4 nascentes (2,0%) inventariadas. Na classe que indica valores mais elevados, acima de 6,0, situam-se 47 nascentes (23,4%) (figura 47).

3.2.8.3 CONDUCTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica consiste na capacidade que a água tem de conduzir a corrente elétrica (ex. Custódio & Llamas, 1996; Hudak, 2001). Está relacionada com o teor de sais dissolvidos na água, ou seja, quanto mais mineralizada for a água, maior a sua condutividade elétrica. Esta propriedade é influenciada pela temperatura, pelo que se deve tomar como temperatura de referência os 25°C, uma vez que a condutividade elétrica aumenta 2%/°C. (Custódio & Llamas, 1996).

A condutividade elétrica das nascentes da área de estudo varia entre 10µS/cm, e 490µS/cm, sendo o valor médio de 110µS/cm. Os valores mais elevados poderão ser denunciadores de processos de contaminação destas águas subterrâneas (Afonso et al., 2007, 2010).

Registámos um valor anómalo de 1330µS/cm na Mina do Souto Fontela de Baixo. Este não foi considerado para análise. Deverá ter outras características que não foi possível apurar, mas continuamos a investigar sobre esse ponto.

Na figura 48 os valores da condutividade elétrica foram expostos em três classes: dos 10µS/cm a 100µS/cm, superiores a 100 µS/cm a 200µS/cm e superiores a 200µS/cm a 490 µS/cm. A maioria das nascentes, 117 (58,2%) enquadram-se na classe em que os valores de condutividade elétrica são mais baixos. Na classe de valores intermédios, encontra-se representado um conjunto de 61 (30,3%) nascentes inventariadas. Na classe que indica valores mais elevados, acima de 200µS/cm, situam-se apenas 23 nascentes (11,4%).

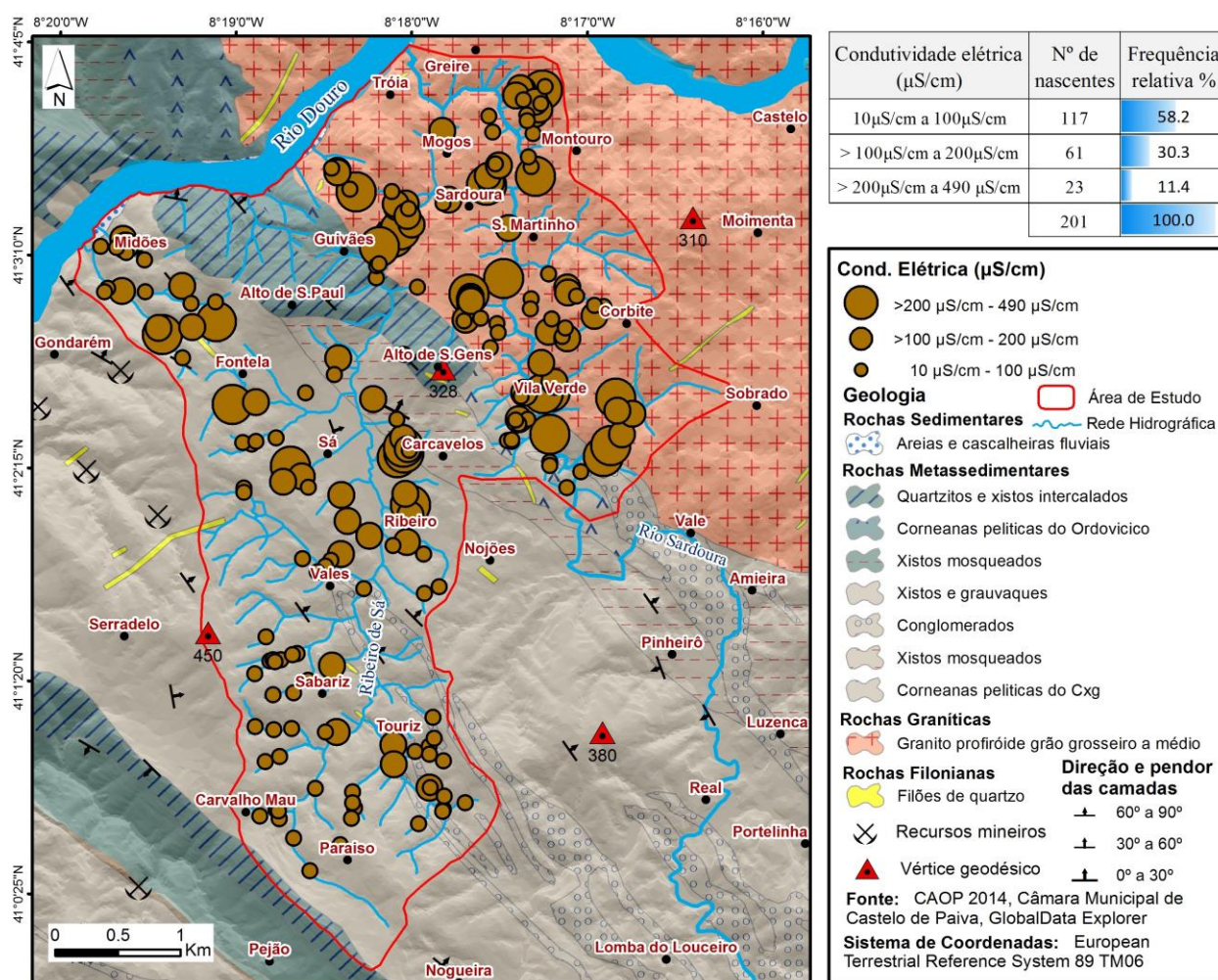


Figura 48 - Condutividade Elétrica (μS/cm) da água das nascentes por classes.

De modo a exemplificar a espacialização dos parâmetros descritos, optou-se por apresentar, na figura 49, o registo de inventário, *in situ*, de quatro nascentes: Vale da Porca de Cima, Souto, Poça das Pombas e Campo de Baixo. A seleção destas nascentes teve em conta as características relativas à condutividade elétrica, duas com condutividade elétrica mais alta e duas com este parâmetro mais baixo. Na figura seguinte constam, para além do pH, temperatura e condutividade elétrica, outros parâmetros que permitem um melhor enquadramento das nascentes.

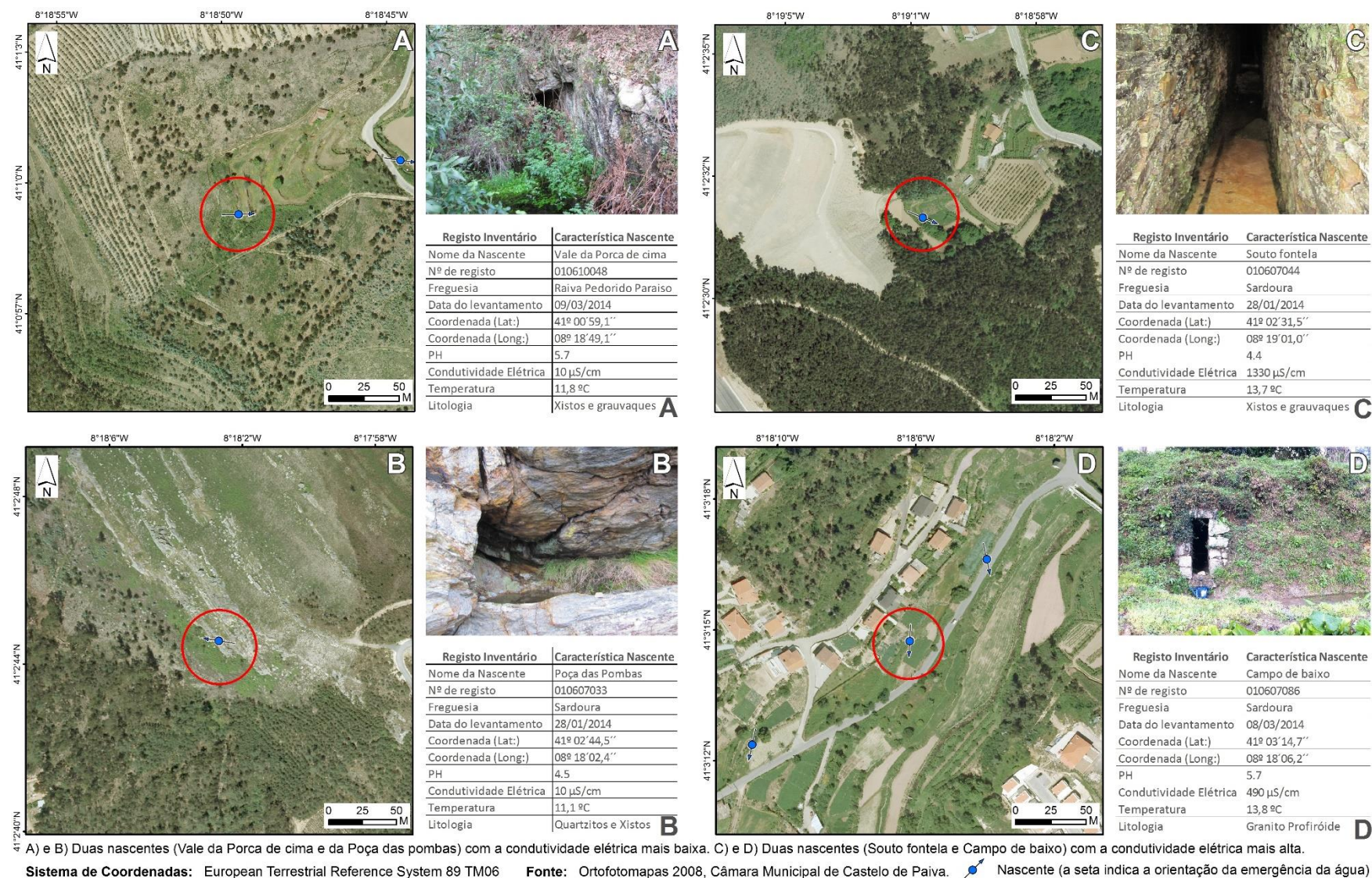


Figura 49 – Demonstração de alguns aspetos das nascentes inventariadas: 1)Vale da Porca de Cima. 2) Souto Fontela. 3) Poça das Pombas. 4) Campo de Baixo.

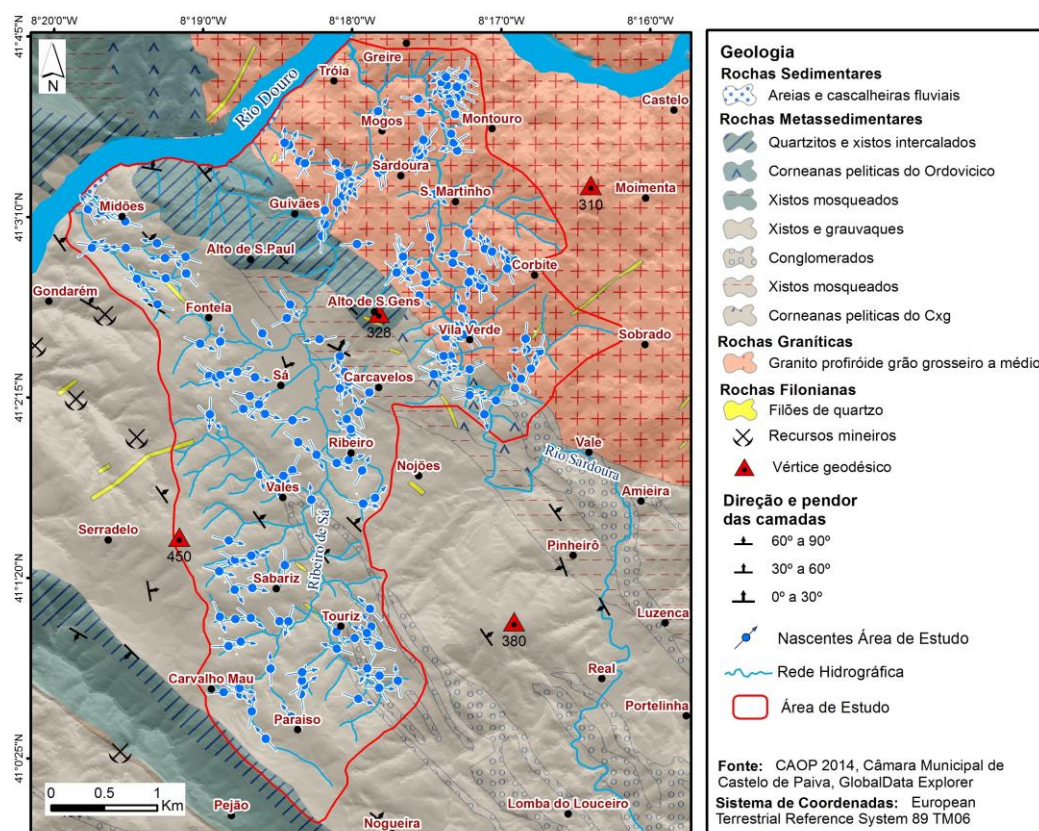
3.3 CRUZAMENTO DOS RESULTADOS DO INVENTÁRIO COM OUTROS PARÂMETROS

A apresentação e análise dos resultados do inventário anteriormente quantificados apoiaram a caracterização das nascentes localizadas na área de estudo. A compreensão da distribuição espacial dos resultados depende do cruzamento e análise de outros elementos que caracterizam a área de estudo, nomeadamente, a geologia, o uso do solo, os declives e as exposições.

3.3.1 GEOLOGIA

3.3.1.1 LITOLOGIA / LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

Relativamente ao tipo de substrato rochoso, a distribuição espacial das nascentes demonstra variações significativas (figura 50).



Litologia	Área ocupada por Litologia (m²)	Frequência relativa da área em cada litologia (%)	Nº de nascentes	Frequência relativa das Nascentes (%)
Filões de quartzo	66595	0.4	0	0.0
Conglomerados	447556	2.4	8	3.9
Quartzitos e xistos intercalados	1517126	8.2	2	1.0
Xistos e grauvaques	8695052	47.1	93	45.1
Areias e cascalheiras fluviais	139209	0.8	0	0.0
Xistos mosqueados	997501	5.4	10	4.9
Corneanas pelíticas	706545	3.8	6	2.9
Granito profíroide de grão grosseiro a médio	5893774	31.9	87	42.2
	18463358	100.0	206	100.0

Figura 50 – Nascentes por litologia e respetiva área ocupada na área de estudo.

Verifica-se uma predominância de nascentes, 93 (45,1%), nos xistos e grauvaques, e 87 (42,2%), no granito porfiroide de grão grosseiro a médio, em comparação às restantes litologias. Estes valores são proporcionais à área ocupada por cada litologia, 46,5% nos xistos e grauvaques e 31,5% no granito porfiroide de grão grosseiro a médio. As restantes 26 nascentes (12,7%) estão distribuídas por conglomerados, quartzitos e xistos intercalados, xistos mosqueados e corneanas pelíticas, em conformidade com a menor área ocupada.

3.3.1.2 UNIDADES GEOLÓGICAS / LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

Nos maciços rochosos, sobretudo os de natureza granítica e metassedimentar, as estruturas tectónicas evidenciam, geralmente, na parte central, uma zona esmagada, à qual se seguem, lateralmente, áreas menos fraturadas até ao contato com rocha compacta. A circulação da água ocorre neste sistema fraturado, desde que a zona mais esmagada não seja impermeável e, pelo contrário, revele condições favoráveis à circulação, sendo por aí que ela se faz preferencialmente, dando origem a emergências de água (Chaminé & Gomes, 2005).

Na tabela 6 organizam-se os resultados respeitantes à agregação dos vários materiais rochosos das diferentes litologias em unidades geológicas. Esta agregação confirma a associação anteriormente apresentada, ou seja, é na unidade geológica das rochas metassedimentares que se localiza a maioria das nascentes 119 (57,8%), seguem-se 87 nascentes (42,2%) em rochas graníticas, sendo que nos depósitos de vertentes e nas rochas filonianas não constam nascentes inventariadas.

Tabela 6 - Percentagem da área ocupada em cada unidade geológica e respetiva percentagem das nascentes

Unidades geológicas	Litologia	Área ocupada por unidade geológica (m ²)	Frequência relativa (%) da área em unidade geológica	Nº de nascentes	Frequência relativa das nascentes (%)
Depósitos de Vertentes	Areias e cascalheiras fluviais	139209	0.8	0	0.0
Rochas Filonianas	Filões de quartzo	66595	0.4	0	0.0
Rochas Metassedimentares	Conglomerados	12363780	67.0	119	57.8
	Quartzitos e xistos intercalados				
	Xistos e grauvaques				
	Xistos mosqueados				
Rochas Graníticas	Corneanas pelíticas	5893774	31.9	87	42.2
	Granito porfiroide de grão grosseiro a médio	18463358	100.0	206	100.0

3.3.1.3 UNIDADES GEOLÓGICAS / PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A figura 51 demonstra a relação entre as unidades geológicas e as nascentes inventariadas, cruzando com os parâmetros físico-químicos medidos no trabalho de campo, designadamente, o pH, a condutividade elétrica e a temperatura da água.

As rochas metassedimentares são as mais extensas em termos de representatividade cartográfica. As áreas adjacentes às serras quartzíticas apresentam um modelado muito acidentado e caótico, tipo montículos de toupeira (Ribeiro et al. 1987). São fortemente entalhadas pela rede hidrográfica, o que demonstra a fraca permeabilidade dos xistos e a dominância da escorrência superficial em detrimento da infiltração (Chaminé & Gomes, 2005).

Nas 115 nascentes que se localizam nesta unidade geológica, a maioria, 74 (64,3%) inclui-se na classe de temperatura acima de 13°C até 15 °C, predominando, em 93 nascentes (80,9%) a classe de valores de pH superiores a 5 até 6. Globalmente, caracterizam-se as águas analisadas como sendo ácidas. Relativamente à condutividade elétrica, nas análises realizadas, registou-se predominância evidente, em 81 nascentes (70,4%) na classe de valores de 10µS/cm até 100 µS/cm. Estes valores sugerem que a maior parte das águas analisadas não se encontram contaminadas.

As rochas graníticas seguem-se às rochas metassedimentares em termos de representatividade cartográfica. O padrão da rede hidrográfica é menos denso nestes terrenos. Tratando-se de um granito porfiróide, de grão grosseiro, caulinizado e arenizado, logo, é mais vulnerável à meteorização química, propiciando, a existência de mantos de alteração granítica francamente arenosos, de profundidade razoável (Chaminé & Gomes, 2005).

As vertentes nesta área assumem aspetos variados, no entanto, destacamos as que apresentam forte declive e as que estão rigidamente alinhadas. Ambos os casos podem corresponder a escarpas de falha, ou seja, zonas geralmente muito fraturadas e esmagadas, denunciando características geológico-geotécnicas específicas deste material, matizados pela sua deficiente coesão e por constituírem estruturas preferenciais para a circulação de águas subterrâneas (Chaminé & Gomes, 2005).

Nesta unidade geológica localizam-se 86 nascentes. Tal como se verificou nas rochas metassedimentares, a maioria das nascentes, 53 (61,6%) regista valores que integram a classe de temperatura, acima de 13°C até 15 °C, predominando, também, em 57 nascentes (66,3%) a classe de valores de pH superiores a 5 até 6. Relativamente à condutividade elétrica, nas análises realizadas, verifica-se uma tendência diferente dos parâmetros anteriormente descritos. Registam-se os mesmos valores, 36 nascentes (41,9%) em duas classes: valores de 10µS/cm até 100 µS/cm e superiores a 100 µS/cm até 200 µS/cm. Estes valores comparativamente aos registados nas rochas metassedimentares, sugerem a propensão de uma maior quantidade de sais dissolvidos na água, encontrando-se, portanto, mais mineralizada.

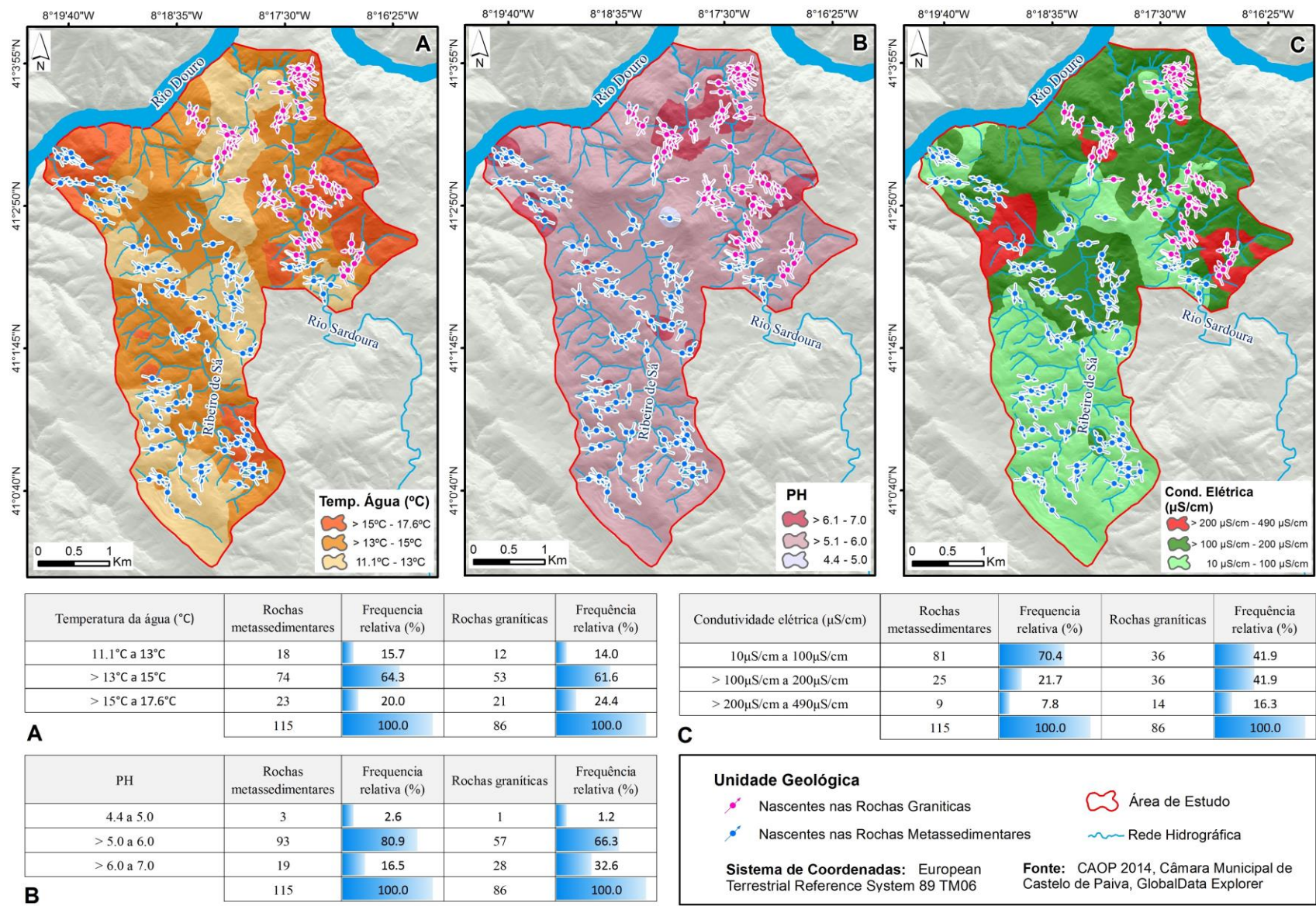
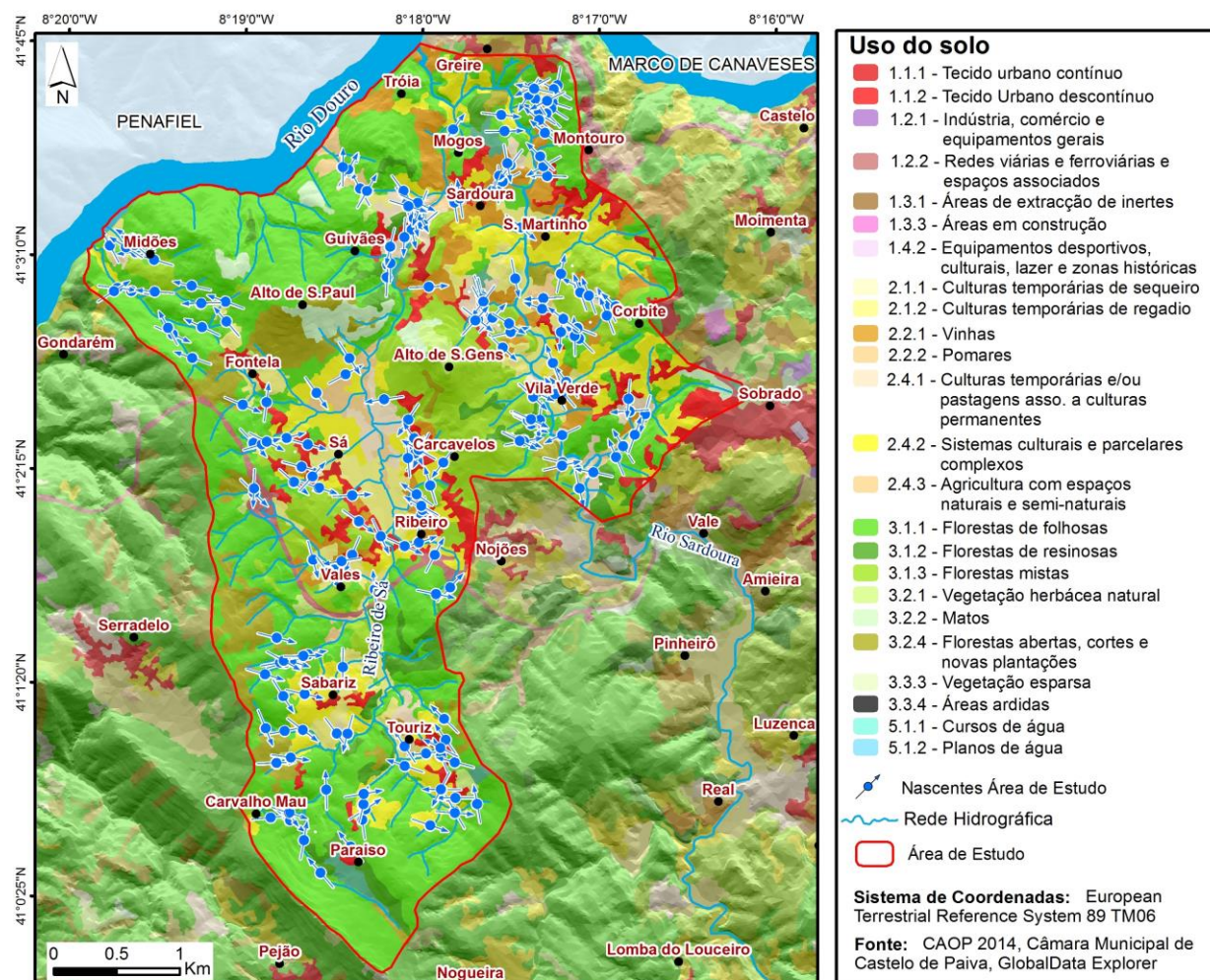


Figura 51 – Unidades Geológicas / Parâmetros físico químico da água A) Temperatura da água. B) PH. C) Condutividade elétrica.

3.3.2 USO DO SOLO / LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

Conforme se verifica na figura 52 e à semelhança do que se verifica no concelho de Castelo de Paiva, a área de estudo é, em grande parte, ocupada por extensas florestas, sobretudo folhosas (38,8%), onde se salientam extensas plantações de eucalipto.



Uso do solo	Área (m²) ocupada por uso do solo (1m de pixel)	Frequência relativa da área (%)	Nº de nascentes	Frequência relativa das nascentes (%)
1.1.1 - Tecido Urbano contínuo	122829	0.7	0	0.0
1.1.2 - Tecido Urbano descontínuo	972945	5.2	9	4.4
1.2.2 - Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	210635	1.1	2	1.0
1.3.1 - Áreas de extração de inertes	5481	0.0	0	0.0
2.1.2 - Culturas temporárias de regadio	1172943	6.3	15	7.3
2.2.1 - Vinhas	1162827	6.2	38	18.4
2.2.2 - Pomares	159420	0.9	0	0.0
2.4.1 - Culturas temporárias e/ou pastagens asso. a cul. permanentes	591419	3.2	26	12.6
2.4.2 - Sistemas culturais e parcelares complexos	2009189	10.8	30	14.6
2.4.3 - Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	369519	2.0	9	4.4
3.1.1 - Florestas de folhosas	7257440	38.8	52	25.2
3.1.2 - Florestas de resinosas	615948	3.3	9	4.4
3.1.3 - Florestas mistas	2105943	11.3	10	4.9
3.2.1 - Vegetação herbácea natural	167116	0.9	2	1.0
3.2.2 - Matos	334117	1.8	1	0.5
3.2.4 - Florestas abertas, cortes e novas plantações	1022540	5.5	3	1.5
3.3.3 - Vegetação esparsa	249	0.0	0	0.0
5.1.1 - Cursos de água	405327	2.2	0	0.0
	18685887	100.0	206	100.0

Figura 52 – Uso do solo da localização das nascentes e respetiva área ocupada. (COS nível 3).

Nestas florestas de folhosas localiza-se, correspondentemente, um elevado número de nascentes, 52 (25,2%). Na localização das nascentes, evidenciam-se usos do solo ligados à área agrícola, principalmente, 38 nascentes (18,4%) em vinhas, 30 (14,6%) em sistemas culturais e parcelares complexos e 26 (12,6%) em culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes. A forte relação que se estabelece entre a localização das nascentes e as áreas agrícolas pressupõe a importância atribuída às nascentes para manutenção das culturas, permanecendo, na área de estudo, um sistema tradicional de regos e levadas que transportam a água para irrigar os campos. Associado a este fato, constatámos que a água das nascentes localizadas em áreas florestais é, na sua maioria, transportada para as áreas agrícolas, através de tubo ou dos sistemas tradicionais referidos anteriormente.

As áreas agrícolas ocupam fundos de vale, certas áreas deprimidas, rechãs e algumas encostas. Pratica-se um sistema de exploração tradicional, onde se misturam e alternam várias culturas ao longo do ano, com a vinha nas bordaduras dos campos. Existem culturas de sequeiro em locais deficitários de água, ou de regadio nos locais onde ela chega em abundância, particularmente nos solos mais férteis onde se procede à cultura do milho.

3.3.3 DECLIVES / LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

Na figura 53 a informação dos declives foi classificada em seis classes com os seguintes intervalos, designadamente, 0° - 5°, >5°-10°, >10°-20°, >20°-30°, >30°-40° e >40°.

Verificamos que a classe que tem maior área de declives é a 10°-20°, com 45,9%, o que coincide com a classe de maior número de nascentes 109 (52,9%).

Por conseguinte, constatámos que a maioria das nascentes, num total de 160 (77,7%), está localizada nas áreas de menor declive, até 20° e de declive intermédio, no intervalo do 20° a 30°, 39 nascentes (18,9%). Apenas 7 nascentes se situam na classe 30°-40° e não existem nascentes inventariadas na classe acima de 40°.

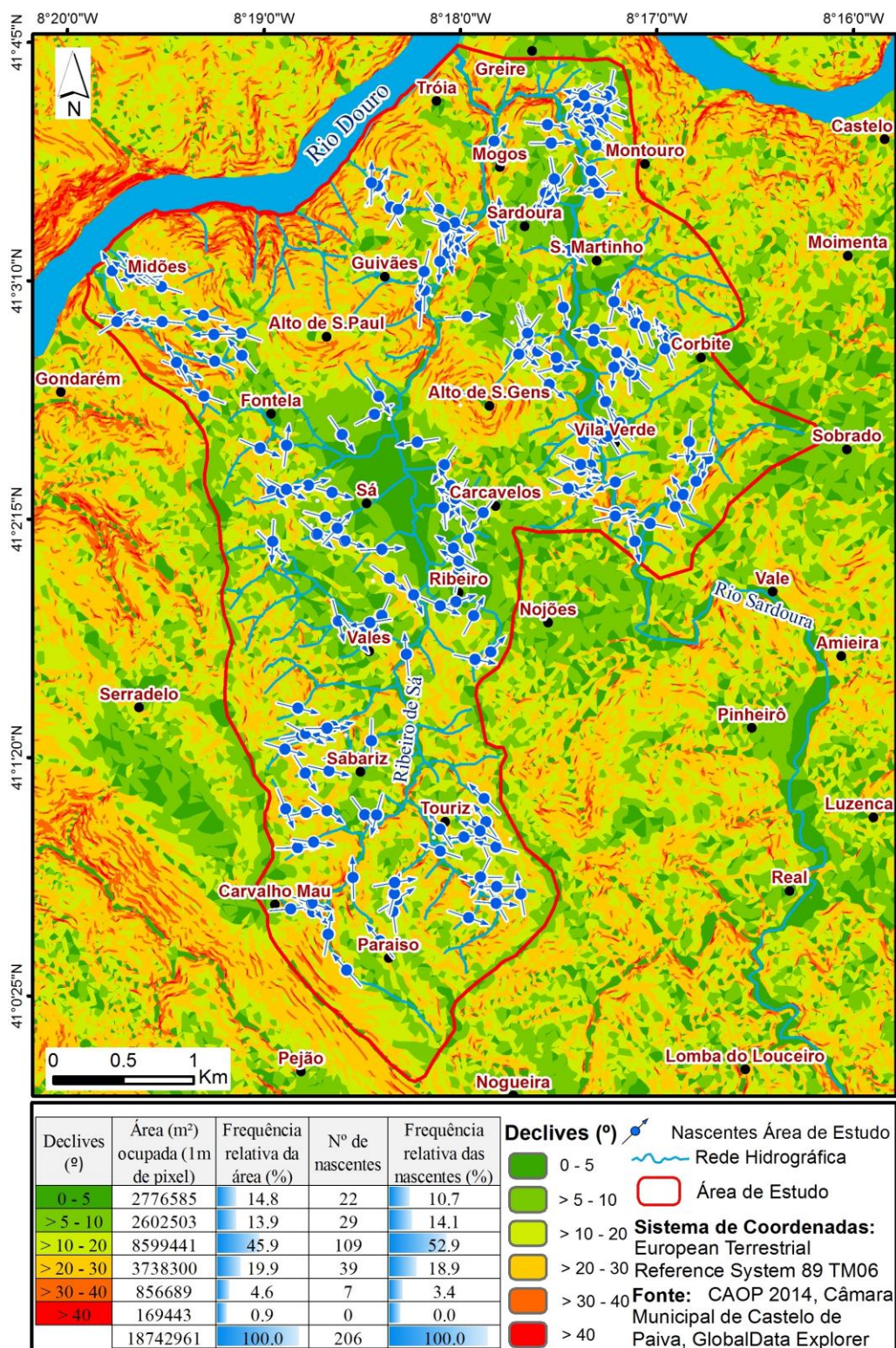


Figura 53 - Declives da localização de nascentes e áreas ocupadas.

3.3.4 EXPOSIÇÕES / LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

A exposição das vertentes foi classificada em octantes. Pela análise da figura 54, verifica-se que a área de estudo está mais exposta ao quadrante Nordeste com 15,8% da sua área, seguindo-

se o quadrante Oeste com 14,1% e o quadrante Norte com 13,0%. No que confere à localização das nascentes, 41 (19,9%) estão expostas no quadrante Oeste, seguindo-se, em números próximos, 31 (15%) no quadrante Nordeste, 30 (14,6%) no quadrante Este e 29 (14,1%) no quadrante Noroeste. As restantes nascentes estão distribuídas, uniformemente, pelos outros quadrantes.

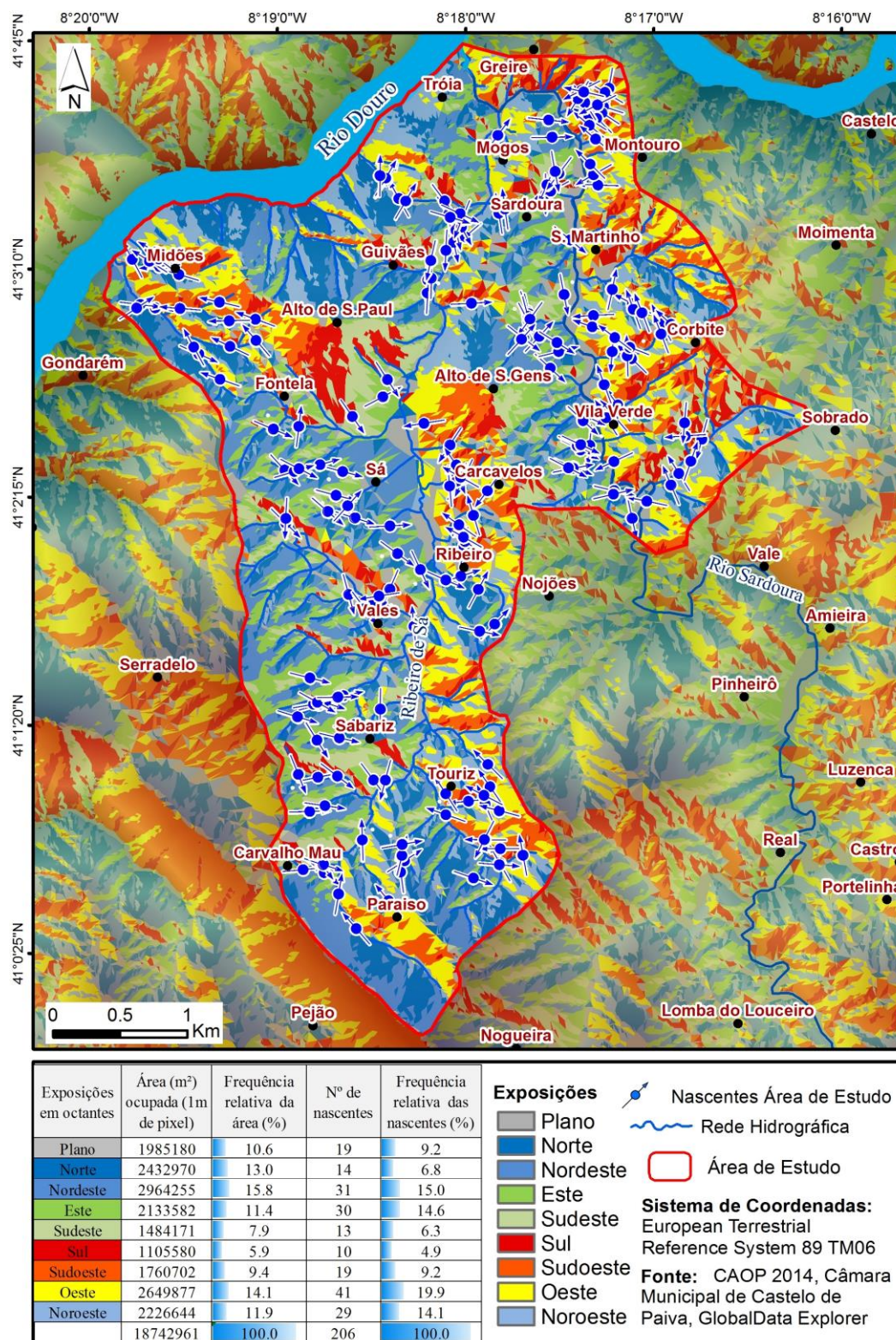


Figura 54 - Exposições solares das nascentes e respetivas áreas ocupadas.

CAPÍTULO IV

VALORIZAÇÃO DO RECURSO

4 VALORIZAÇÃO DO RECURSO

Atualmente, o mundo rural assume novos desafios. Os gestores territoriais encontram-se mais conscientes da condição de subaproveitamento destes locais e das questões do despovoamento que enfrenta, dirigindo as suas atenções para formas alternativas de rentabilizar os recursos locais.

Neste sentido, o campo recupera algum do protagonismo outrora perdido para as cidades e desperta a atenção do habitante urbano, atraído, ora pelo sentimento de nostalgia, ora pela necessidade de fuga ao quotidiano. A crescente massificação das cidades, resultante de um processo de crescimento muito rápido e desenfreado, conduziu ao congestionamento dos espaços urbanos e à degradação da qualidade de vida. As populações, que antes se concentravam nas cidades para viver e trabalhar, optam cada vez mais por habitar nos espaços mais tranquilos e seguros dos subúrbios e periferias urbanas. As novas procuras dos espaços rurais baseiam-se “num quadro de representações dos urbanos” (Cristóvão, 2002) sobre as paisagens rurais. Emerge uma busca pelas origens e um sentimento de pertença, movida pela necessidade de calma e escape ao stress urbano. Há um ambiente que é sentimental em relação aos espaços vividos ou imaginados, que valorizam territórios e lugares (Cavaco, 2003). Se em épocas passadas o mundo rural pertencia aos agricultores, atualmente pertence a múltiplos atores e atividades que ocupam e co-gerem o território (Bailly, 2006).

O surgimento da multifuncionalidade rural assenta nas potencialidades e recursos endógenos que estes territórios podem oferecer às suas populações e aos agentes externos (Cristóvão, 2002). O desenvolvimento económico rural está relacionado com a diversificação das atividades, deixando no passado a visão tradicionalista do rural agrícola.

A atividade turística surgiu, em contexto rural, como uma opção à massificação do turismo de sol e praia, valorizando-se a maior presença do estado natural, a tranquilidade, a curiosidade pelo tradicionalismo e o retorno às origens. As atividades de turismo em espaço rural desenvolveram-se, rapidamente, sobre várias formas e novas designações, que surgem estrategicamente, tirando o máximo proveito dos recursos que o mundo rural pode oferecer e do seu rótulo de “reserva ambiental” (Figueiredo, 2001).

O turismo ativo, nomeadamente nas suas vertentes de natureza e aventura, pode integrar atividades desde os passeios a pé, em BTT, de jipe, a cavalo, provas de orientação por carta e bússola, atividades de espeleologia, até às atividades mais radicais como o *rappel*, as escaladas e o *rafting*, ou incluir rotas temáticas, como as gastronómicas e vinícolas.

O desenvolvimento de atividades de turismo e de lazer impulsionam a economia local, levando ao surgimento/desenvolvimento de outros serviços, nomeadamente o aumento de alojamentos locais, restaurantes típicos, atividades artesanais e desportivas, a criação de parques de lazer, a definição de percursos na natureza, entre outros.

4.1 TRILHOS VERDES BTT

Como referido anteriormente, Castelo de Paiva apresenta características que marcam o encontro do Norte com o Centro de Portugal e do litoral com o interior, salientando-se características tradicionalmente definidoras de ruralidade.

O município concentra um conjunto de recursos naturais, ambientais, patrimoniais e culturais de grande qualidade, que configuram um potencial turístico elevado. Se devidamente articulados, promovidos e comercializados, eles poderão constituir excelentes produtos, contribuindo para uma oferta turística diferenciada e de qualidade.

Tendo em atenção os recursos e o comportamento da procura, a aposta de Castelo de Paiva deve passar, sobretudo, pelo aproveitamento dos recursos endógenos, nomeadamente, os naturais e paisagísticos. Neste contexto, e como forma de aplicabilidade dos SIG e valorização do recurso explorado nesta investigação, as nascentes, pretendemos implementar um trilho de BTT, denominado **Trilho das Nascentes**. Este objetivo decorreu da participação ativa no desenvolvimento do turismo no concelho de Castelo de Paiva, nas suas vertentes de natureza e aventura, e mais concretamente, na criação do conceito “Trilhos Verdes BTT”.



Figura 55 - Logótipo criado para promoção turística dos Trilhos Verdes BTT.

O projeto “Trilhos Verdes BTT” foi criado pelo município no decorrer do presente ano, 2014, com a finalidade de atrair turistas para a prática desportiva de BTT e, deste modo, impulsionar a economia local. “Trilhos Verdes BTT” leva o turista a conhecer Castelo de Paiva num espírito de aventura e contato com a natureza, a passear por aldeias com ruas estreitas dos seus casarios, onde se erguem majestosas igrejas profusamente ornamentadas, casas com esmerados brasões e bonitas varandas, quase sempre floridas.

4.1.1 TRILHO DAS VINHAS (TESTE)

No contexto do projeto “Trilhos Verdes BTT”, descrito anteriormente, inseridos numa equipa de trabalho, implementámos um trilho teste “Trilho das Vinhas”, inspirado num produto reconhecido da região, o vinho verde, consistindo num circuito pelas respetivas vinhas.

Após termos definido o percurso, para identificar os locais onde teríamos de colocar a sinalética, procedemos à georreferenciação dos pontos, com recurso a GPS. Posteriormente, elaborámos cartografia para a operacionalização no campo (figura 56, 57 e 58).

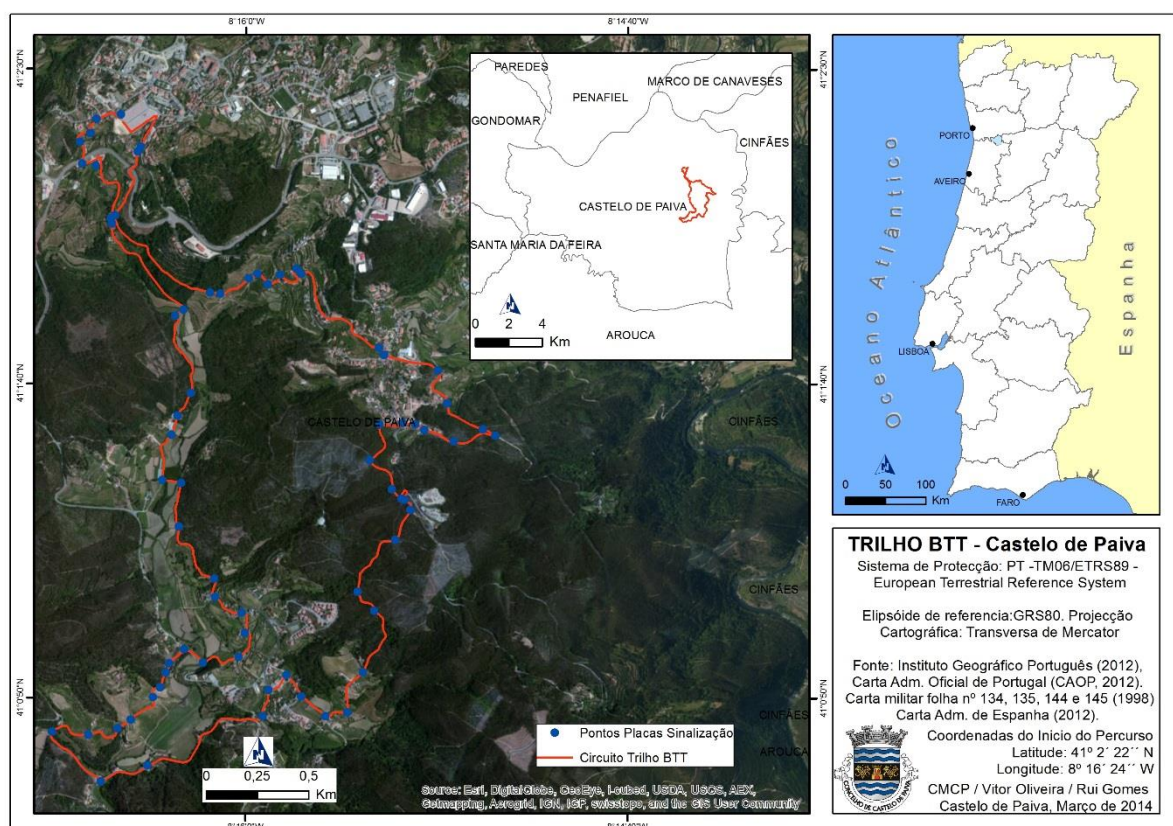


Figura 56 - Identificação do percurso Trilho das Vinhas e respetivos pontos de sinalética.

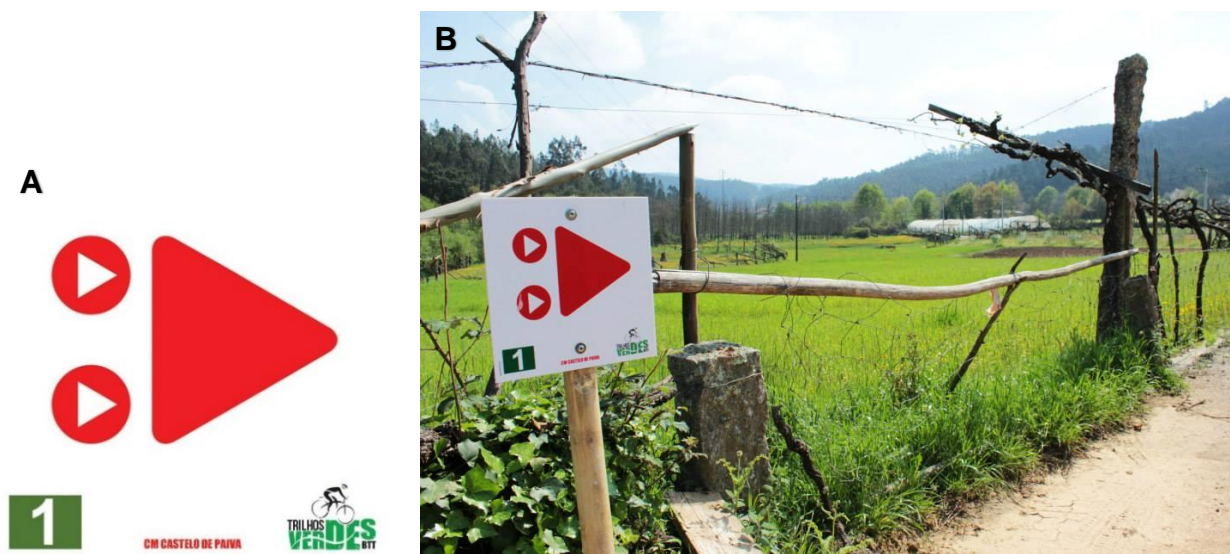


Figura 57 - A) Sinalética inédita concebida para o projeto. B) Aplicabilidade da sinalética.

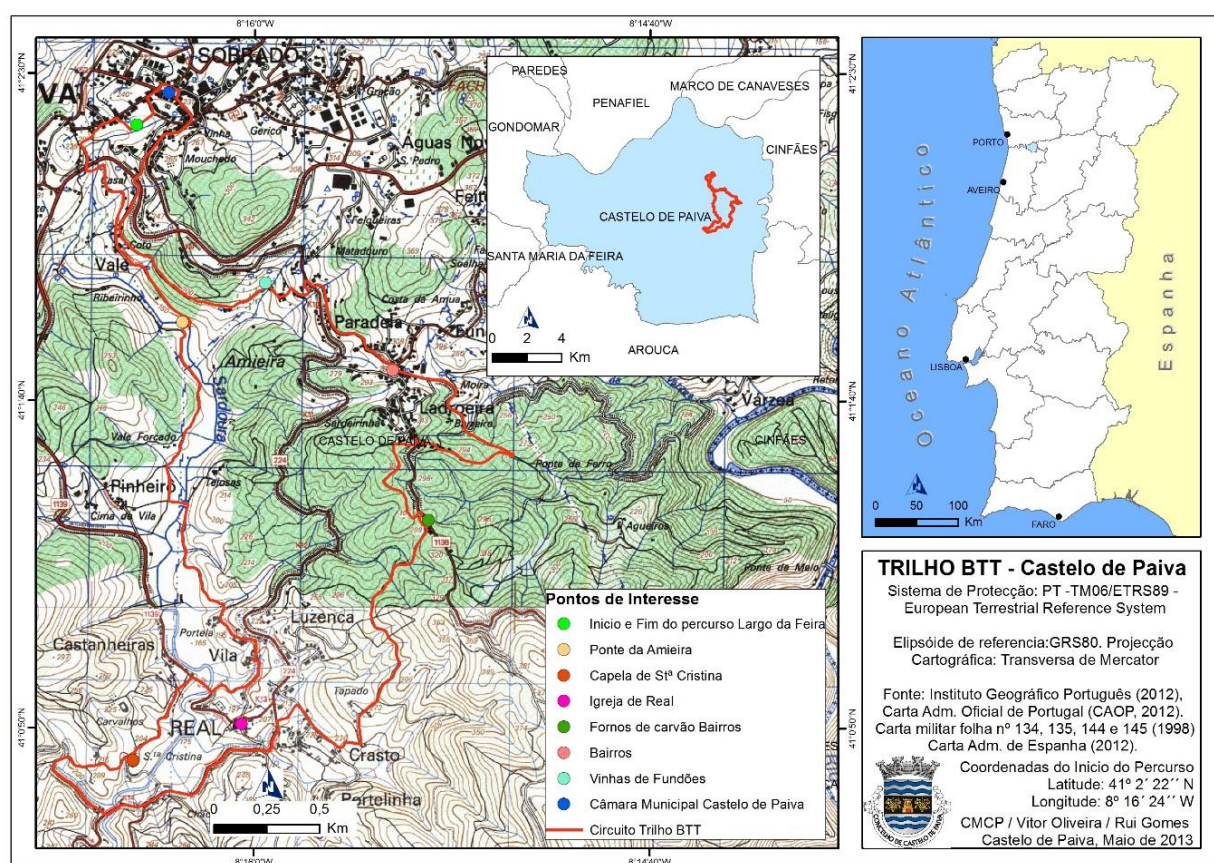


Figura 58 – Percurso BTT com os pontos de interesse para os praticantes.

A inauguração do trilho teste “Trilho das Vinhas” ocorreu no dia 25 de Abril de 2014. Teve uma forte adesão inicial por praticantes do concelho e de concelhos limítrofes, alcançando os objetivos propostos, com bons resultados.

4.1.2 TRILHO DAS NASCENTES

Perante a avaliação positiva do trilho teste, considerámos extremamente pertinente para o município começar também a explorar, a riqueza geológica e a peculiar “arquitetura das minas de água”, associadas às nascentes inventariadas, enriquecendo o projeto da Câmara Municipal “Trilhos Verdes BTT” com a criação de um percurso BTT pelas nascentes existentes na área de estudo, denominado “Trilho das Nascentes”.

O Projeto “Trilho das Nascentes” tem como objetivo promover, junto dos participantes de BTT, a difusão do conhecimento geológico e geomorfológico da área das nascentes, sob a forma de turismo de aventura, utilizando os recursos hídricos subterrâneos. Isto, para rentabilizar e fomentar economicamente o meio rural em que Castelo de Paiva se insere. Será divulgado com folhetos informativos/turísticos e através de *website*, permitindo aos utilizadores uma visualização em mapas temáticos do circuito e dos respetivos pontos de interesse.

O **Trilho das Nascentes** (figura 59) consistirá num percurso circular de grande beleza paisagística e rural, privilegiando locais onde existem nascentes, em litologias diferenciadas (granitos, quartzitos, xistos,...), as quais pertencem a um contexto geológico de rochas metassedimentares e graníticas. As nascentes encontram-se rodeadas por áreas agrícolas, vinhas, áreas florestais de pinhal e de eucaliptos, contemplando o Vale da Ribeira de Sá, Sardoura, num inebriante contato com a natureza, potenciando a proximidade com o mundo rural e as principais produções agrícolas do concelho.

Será um convite à descoberta da paisagem rural genuína, com regos e levadas, levando o praticante de BTT a percorrer inusitados caminhos, com acesso a minas de água, onde se podem refrescar, ir à descoberta das nascentes, e repousar um pouco para apreciar a tranquilidade que os espaços oferecem.

Um trilho que proporciona ao turista e praticante de BTT, um trajeto inovador e com diferentes graus de dificuldade, onde o tempo e o interesse determinarão naturalmente as suas escolhas.

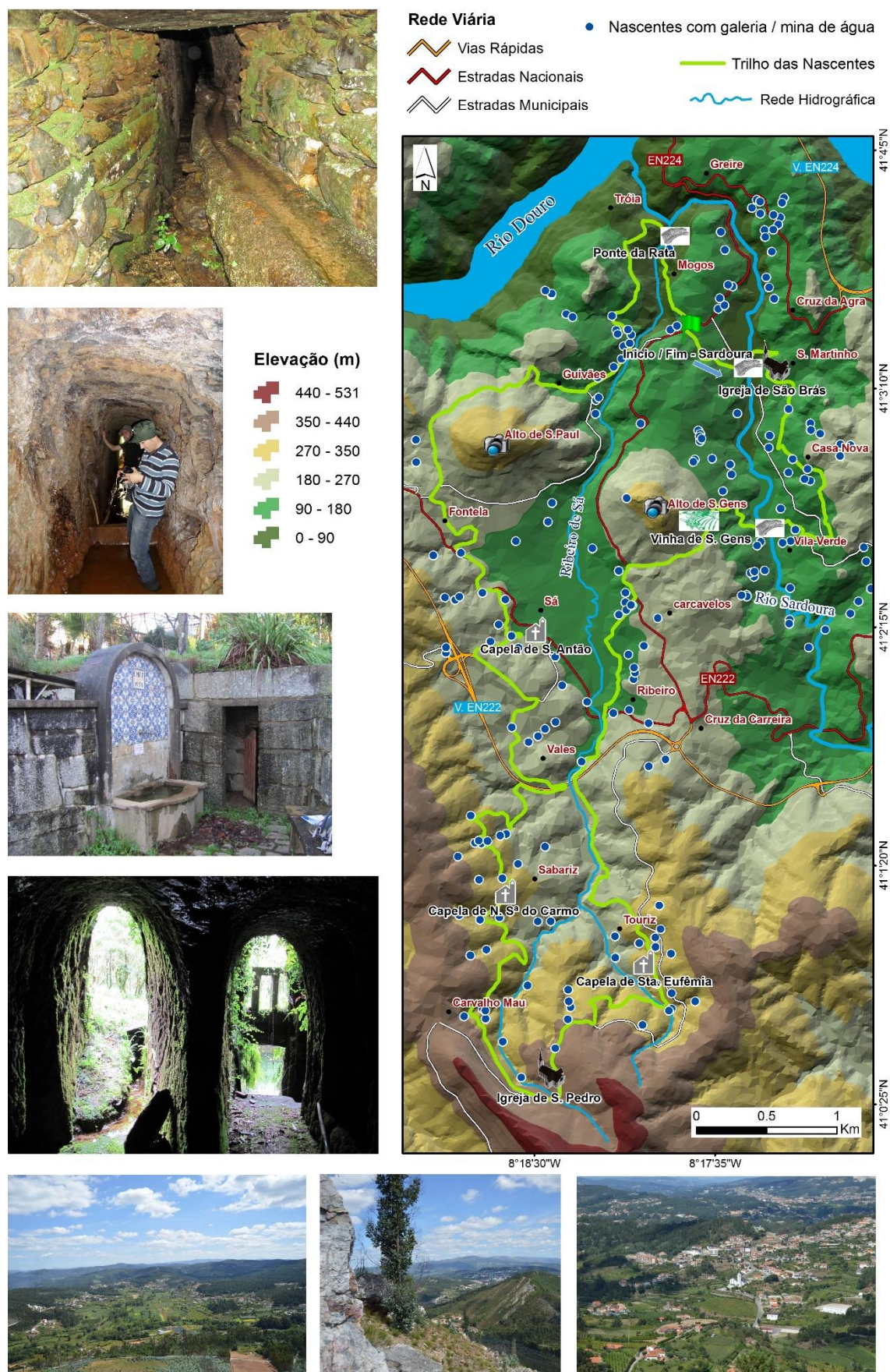


Figura 59 - Cartografia do "Trilho das Nascentes".

O trajeto previsto tem início no centro da freguesia de Sardoura (Lat: 41°03'25.32"N Long: 08°17'44.16"W) e desenvolve-se em direção ao vale do rio Sardoura na freguesia de São Martinho, onde atravessa o rio rumo ao monte de São Gens, (figura 60) seguindo pela margem oeste da ribeira de Sá em direção a montante, passando na típica aldeia de St^a Eufémia, até chegar ao início da bacia da ribeira de Sá.



Figura 60 - Vista panorâmica do alto de Sº Paúl para o alto de Sº Gens e vale da ribeira de Sá.

Ao longo deste circuito, o praticante tem a oportunidade de apreciar o casario de arquitetura rústica. Seguindo para jusante passará pela pitoresca aldeia de Sabariz e no sentido Este da bacia da ribeira de Sá, circulará pelo fundo do vale do monte de São Paúl em direção às vinhas de Sardoura. Na sua totalidade, o referido trajeto tem uma distância a percorrer de 23,4 km. Os utilizadores deste percurso, que apreciam o turismo religioso, têm, ainda, a possibilidade de passar junto às igrejas da Nossa Senhora da Assunção em Sardoura, São Brás em São Martinho, São Pedro no Paraíso e pelas capelas de Santa Eufémia, Nossa Senhora do Carmo em Sabariz e Santo Antão, em Sá.

Fora do centro urbano, este trilho foi pensado para o turista se aventurar por serras e vales e conhecer a extraordinária beleza e biodiversidade do Vale da Ribeira de Sá, Sardoura. Ao seu alcance, está, ainda, a possibilidade de subir ao topo dos montes de São Gens e São Paúl, onde se avistam paisagens rurais magníficas, desta região e dos rios que a atravessam, ao imponente Rio Douro, (figura 61).



Figura 61 - Vista panorâmica do alto de Sº Gens para Sardoura, Sº Martinho e rio Douro.

4.1.3 METODOLOGIA DE TRABALHO

O desenvolvimento dos projetos de Trilhos BTT, anteriormente descritos, do ponto de vista metodológico, compreendeu três fases:

Fase 1) Organização: Constituição da equipa de trabalho e distribuição de tarefas; Saída de campo com o intuito de reconhecer a área de estudo, elaboração de rotas, tirar fotografias e descrever a geologia local a partir do levantamento bibliográfico previamente realizado; Definição estratégica do traçado, a partir da localização de pontos turísticos com interesse cultural, geológico, ecológico, ...; Verificação do estado do trilho definido; Definição de formas de divulgação; Levantamento orçamental; Estabelecimento de parcerias para a sua execução; Fixação de prazo para finalização do projeto.

Fase 2) Implementação: Aquisição de materiais necessários; Criação do logótipo do projeto; Elaboração de cartografia temática; Criação de textos e seleção de imagens/fotografias, e sua incorporação/publicação nas formas de divulgação selecionadas; Estabelecimento e divulgação de regras de conduta; Conceção de ficheiros do tipo KML/KMZ - Keyhole Markup Language e GPX - GPS Exchange Format, para colocar à disposição dos utilizadores do percurso; Melhoramento dos trilhos para a circulação BTT, quando necessário; Colocação de sinalética em pontos estratégicos do percurso;

Fase 3) Avaliação e manutenção: Receção e análise de feedbacks dos utilizadores dos principais pontos positivos e/ou a melhorar; Atualizações periódicas das provas de BTT nos meios de divulgação; Avaliação trimestral das condições do percurso.

4.1.3.1 CONTRIBUTO DA BASE DE DADOS ESPACIAL

A metodologia adotada na elaboração de projetos de cariz geográfico beneficia com o recurso a uma BDE, sendo que ela permite sintetizar e organizar a informação segundo a forma de tabelas, a georreferenciação da informação, atribuindo-lhe teor geográfico, assim como, o cruzamento de dados com ortofotomapas e cartas georreferenciadas. A visualização dos dados pode ser realizada sob a forma de tabelas ou de mapas, enriquecendo os resultados obtidos.

A BDE criada nesta investigação foi o suporte de base para a elaboração do projeto “Trilho das Nascentes”, funcionando como uma ferramenta fundamental para a posterior divulgação de informação. Permitiu-nos utilizar a informação recolhida no campo, armazenada no formato *shape*, transformando-a em ficheiros de formato KML/KMZ. Este formato, como é nativo do Google Earth, de utilização generalizada, permite efetuar pesquisas, com fácil acesso e

visualização pelo utilizador comum, da posição geográfica e da informação detalhada sobre o percurso e as nascentes. Num clique, aciona-se a hiperligação, abrindo-se uma janela com a informação reunida durante a investigação, em forma de tabela, correspondente ao local, área ou trajeto.

A integração da informação na plataforma Google Earth, em nosso entender, assume-se como uma das melhores formas de a visualizar, analisar e relacionar, de acordo com as necessidades do utilizador, seja na preparação de provas BTT ou simplesmente por lazer.

Na figura 62 apresentamos um exemplo da utilidade da informação da BDE, no formato KML/KMZ. No projeto “Trilhos das Nascentes”, pode observar-se a fotografia de cada nascente, assim como, a respetiva ficha informativa.

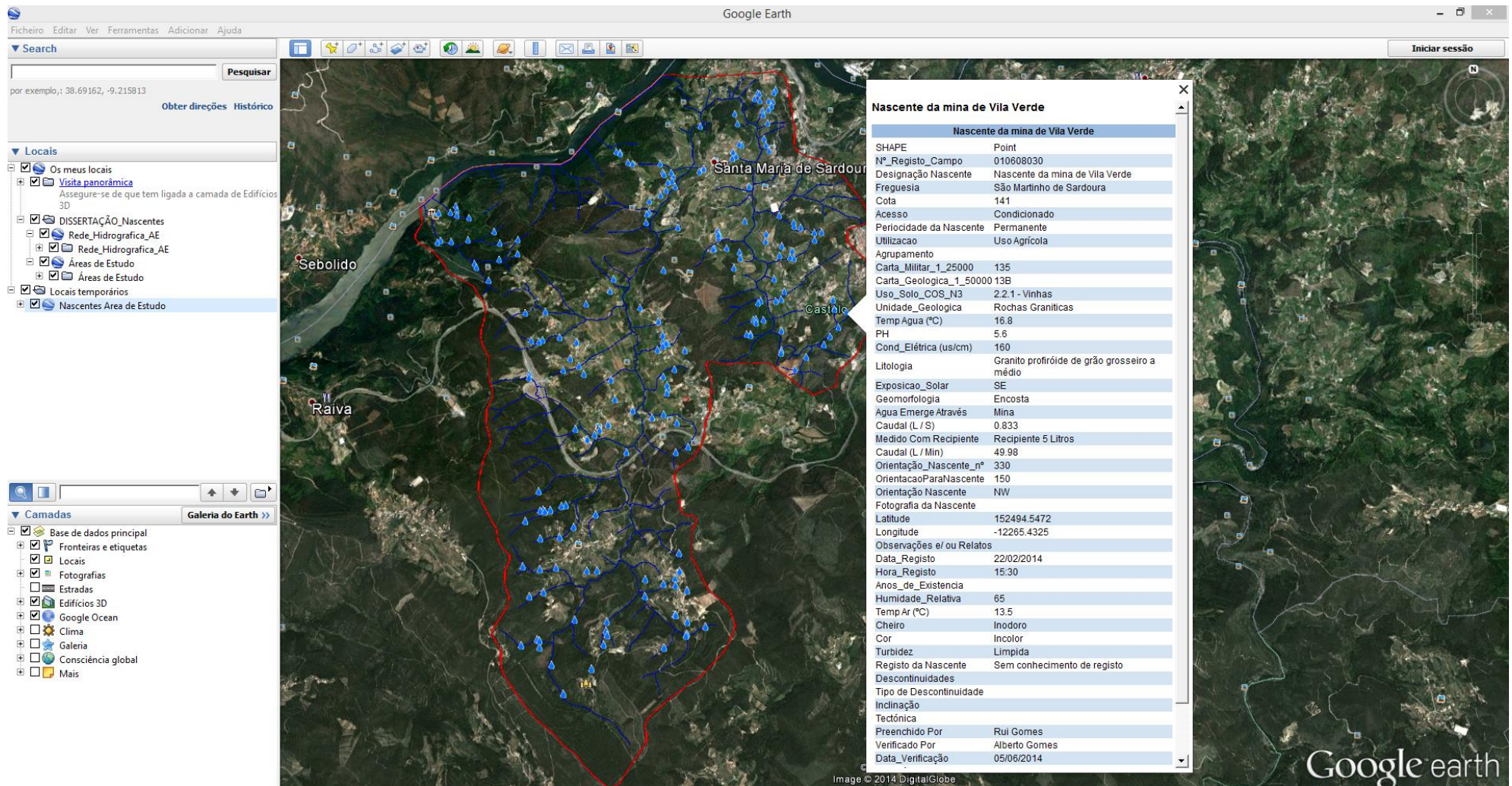


Figura 62 – Exemplo da aplicação da BDE em formato KML/KMZ no Projeto “Trilho das Nascentes”.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

5 CONCLUSÕES

A realização da presente dissertação de mestrado, numa perspetiva multidisciplinar do tema das águas subterrâneas, tendo como área de estudo a Bacia Hidrográfica da Ribeira de Sá, Sardoura, em Castelo de Paiva, permite, nesta fase, a apresentação de conclusões e de linhas futuras de investigação.

A metodologia adotada no estudo de caso revelou-se bastante útil para irmos de encontro aos objetivos inicialmente propostos, ao nível da distribuição do recurso hídrico subterrâneo, com a identificação/localização das nascentes e consequente análise e interpretação de padrões, e da formulação de linhas de apoio à tomada de decisões futuras de gestão destes recursos, por parte do município.

Da pesquisa documental e cartográfica obtiveram-se informações pertinentes para a caracterização do concelho e da área de estudo em diversas vertentes, com enfoque nas áreas da Hidrogeologia e da Geomorfologia. A visualização de indicadores de recursos hídricos subterrâneos em cartografia datada das décadas de 1940, 1970 e 1990 contribuiu para a posterior validação da informação em contexto de trabalho de campo, através do contato com habitantes e agricultores, levando à identificação e localização de um número significativo de nascentes na área de estudo.

A criação de uma ficha de inventário foi vital para a organização dos dados provenientes do trabalho de campo. Estes dados foram integrados num SIG, através de uma BDE, o que permitiu o seu armazenamento, uma melhor visualização da localização e distribuição das nascentes na área de estudo, a análise e compreensão da distribuição do recurso bem como um acesso facilitado às informações associadas. Criou-se, assim, uma ferramenta importante de representação, de pesquisa e de análise de dados, no sentido em que promove o cruzamento de informação diversa (gráfica, tabular e bibliográfica) e permite, em parte, a compreensão da distribuição das nascentes.

A integração da informação nos Sistemas de Informação Geográfica possibilitou a elaboração de todos os elementos cartográficos presentes na investigação, revelando-se uma ferramenta bastante útil para apoiar a abordagem multidisciplinar, no âmbito do armazenamento da informação recolhida e apoio ao conhecimento científico e técnico.

Centrando-nos na análise dos resultados, consideramos relevante, nesta fase, apresentar algumas das interpretações mais pertinentes. De um total de 206 nascentes inventariadas, na sua maioria, a água continua a ser utilizada para o desenvolvimento de atividades agrícolas, como a rega, sendo conduzida para os campos por regos e levadas. A valorização deste recurso por parte dos agricultores e o conhecimento da experiência profissional nas minas de carvão, levou-os à

escavação de minas em nascentes naturais para aumentar o volume dos caudais. Este fato poderá estar associado ao registo de um número elevado de nascentes na área de estudo, cuja emergência da água ocorre através de minas.

Relativamente ao parâmetro da condutividade elétrica, os valores obtidos e analisados sugerem nascentes de água de boa qualidade, pelo que, existindo, ainda, um número significativo de nascentes sem qualquer utilização, e dada a importância global da água como um recurso natural fundamental para a sobrevivência da humanidade, consideramos que este recurso natural deveria ser valorizado e devidamente aproveitado. A análise deste parâmetro, em associação à análise espacial do território da amostra, permitiu-nos identificar quais as áreas mais suscetíveis a contaminações (ou que denotam alguma contaminação) e, deste modo, menos propensas para captação de água subterrânea. As nascentes localizadas mais a montante da bacia da ribeira de Sá, Sardoura, possuem em termos gerais, melhores resultados nos parâmetros físico-químicos analisados. Conforme nos deslocamos para jusante os valores vão aumentando. Para justificar este facto, podemos colocar como fator condicionante a ação antrópica verificada na utilização agrícola dos solos (administração de fertilizantes e uso mais intensivo) nas áreas das nascentes a jusante da bacia da ribeira de Sá.

Através do uso das ferramentas de SIG, foram criados instrumentos de trabalho úteis à tomada de decisão em relação ao planeamento e gestão dos recursos hídricos subterrâneos do município em diversas vertentes, nomeadamente, consumo humano, utilização agrícola, proteção florestal e monitorização das nascentes por entidades públicas e /ou privadas.

Numa fase final, destacamos as potencialidades das nascentes enquanto recurso turístico, como é exemplo o percurso “Trilho das Nascentes BTT”, o qual valoriza a riqueza geológica e a peculiar “arquitetura das minas de água”. O referido percurso será, futuramente, inserido no projeto “Trilhos Verdes BTT”, já em curso no município.

A conclusão deste projeto encaminha-nos para a primeira fase de uma investigação mais ampla e ambiciosa. O trabalho de campo realizado apoiou-nos no levantamento de uma série de questões sobre as águas subterrâneas. Seria interessante desenvolver, futuramente, alguns trabalhos que nos parecem particularmente atrativos para a compreensão desta temática. Entre eles destacamos estudos de caso relativamente a algumas nascentes que sugerem suscetibilidade à contaminação e o aprofundamento das questões de tectónica, relacionadas com as nascentes de diferentes bacias hidrográficas. Seria ainda interessante e enriquecedor alargar o inventário a outros locais do concelho, nomeadamente à localidade de Pedorido onde se localizam as antigas minas do Pejão e que apresenta diferente contexto litológico (xisto carbonoso), realizando uma análise integrada com a bacia hidrográfica da ribeira de Sá, comparando-se resultados.

BIBLIOGRAFIA

- Afonso, M. J., Chaminé, H.I., Marques J.M., Carreira P.M., Guimarães L., Guilhermino L., Gomes A., Fonseca P.E., Pires A. & Rocha F. (2010). Environmental issues in urban groundwater systems: a multidisciplinary study of the Paranhos and Salgueiros spring waters, Porto (NW Portugal). *Environmental Earth Science*, 61:379-392.
- Afonso, M.J., Chaminé H.I., Carvalho J. M., Marques J. M., Carreira P. M., Guimarães L., Guilhermino L., Fonseca P. E., Gomes A., Fonseca M., Pires A. & Rocha F. (2007a). Uma abordagem geoambiental no estudo dos subterrâneos da cidade do Porto: o caso do manancial de Paranhos. In: *Actas do Seminário sobre Águas Subterrâneas, LNEC*, 1-2 de Março de 2007. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Lisboa, 10 pp. (CD-Rom).
- Afonso, M.J., Chaminé H.I., Carvalho M.J., Marques M.J., Gomes A., Araújo M.A., Fonseca P.E., Teixeira J. & Rocha F. (2007b). Urban groundwater resources: a case study of Porto metropolitan area (Iberian Massif, NW Portugal). In: K. W F. Howard (ed). *Urban Groundwater: Meeting the Challenge (Chapter 20 - Urban Aquifer Management)*. Selected Papers on Hydrogeology, IAH/Taylor & Francis CRC Press, SP8, pp. 278 - 294.
- Assaad, F.A.; LaMoreaux, P.E.; Hughes, T.H.; Wangfang, Z. & Jordan, H. (2004). *Field methods for geologists and hydrogeologists*. Springer-Verlag. 420pp.
- Bailly, A. (2006). Développement territorial durable en milieu exurbain et rural. in FONSECA, M. L. (coord) – *Espaços rurais pós agrícolas e novos lugares de turismo e lazer*. Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, pp. 61-72.
- Carneiro, J., & Carvalho, J. M. (2010). Groundwater modelling as an urban planning tool: issues raised by a small-scale model. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(2), 157-170.
- Carvalho, J.M., Espinha Marques J., Afonso M.J., Chaminé H.I. (2005). O caudal de exploração em captações de água mineral natural e de nascente em rochas cristalinas do maciço antigo português. In: F. Fernández Rubio (ed.), *Proceedings del I Foro Ibérico sobre Aguas Envasadas y Balnearios*, Madrid, 12 pp. (in press)
- Carvalho, J. M., (2006). *Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: Linhas metodológicas*, 292 pp. anexos e carta hidrogeológica. Universidade de Aveiro (Tese de Doutoramento).
- Cavaco, Carminda (2003). Ambiente e usos do território. Reflexões incómodas. in PORTELA, J.; CALDAS J. C (coord.), *Portugal chão*. Oeiras: Celta, pp 189-198.
- CE (2000). Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu de 23 de Outubro de 2000. Estabelece o Enquadramento para as Acções Comunitárias no Domínio da Política da Água. *Jornal Oficial* 22 de Dezembro de 2000 L 327/1. Bruxelas: Comissão Europeia.
- Chaminé, H. I. & Gomes A. (2005). Cartografia geológica e geomorfológica para a caracterização de riscos naturais à escala do planeamento regional: aplicação ao concelho de Castelo de Paiva (NW de Portugal). *Xeográfica, Revista de Xeografia, Território e Medio Ambiente*, Santiago de Compostela, nº 5, pp. 86-106.

- Chernicoff, S., Whitney, D., (2007). *Geology: An Introduction to Physical Geology*, 4th Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 679 p.
- Custódio, E.; Llamas, M. R., (1996). *Hidrologia subterrânea*, 2 Vols, Omega, Barcelona. 2350 pp.
- Custódio, E. & Llamas M. R., (2001). *Hidrologia subterrânea*. 2ª Edição. Edições Omega S.A., Barcelona. 2350 pp.
- Cristóvão, Artur (2002). Mundo rural: entre as representações (dos urbanos) e os benefícios reais (para as rurais). in RIEDL, M.; ALMEIDA, J. e VIANA, A. (org), *Turismo rural: tendências e sustentabilidade*. Santa Cruz do Sul, EDUNISC, 81-116. pp
- Daveau, S., (1985). Mapas climáticos de Portugal. Nevoeiro e Nebulosidade. Contrastes térmicos. *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, nº7, 84 pp.
- Dingman, S. L., (1994). *Physical hydrology*, Prentice Hall, New Jersey. 575 pp.
- DR (Diário da Republica), (1998). Decreto-Lei n.º 208/2008 – O presente decreto-lei visa transpor para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Dezembro. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- DR (Diário da Republica), (2012). Decreto-Lei n.º 130/2012 – O Presente decreto-lei visa fundamentalmente, proceder à adaptação da Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, alterada pelo Decreto -Lei n.º 245/2009, de 22 de setembro, à reestruturação do atual quadro institucional. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- DR (Diário da Republica), (2012). Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012 – No presente diploma da REN, estabelece uma estrutura de enquadramento e proteção dos espaços produtivos, agrícolas e urbanos.
- Doerfliger, N., Jeannin, P. Y., & Zwahlen, F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39(2), 165-176.
- Espinha Marques, J., (2007). Contribuição para o conhecimento da hidrogeologia da Região do Parque Natural da Serra da Estrela, 378 pp. Universidade do Porto (Tese de Doutoramento).
- Espinha Marques, J., Samper J., Pisani B., Carvalho J.M., Chaminé H.I., Marques J., Vieira G.T., Mora C. & Sodré Borges F. (2011). Evaluation of water resources in a high-mountain basin Serra da Estrela, Central Portugal, using a semi-distributed hydrological model. *Environmental Earth Sciences*. 62(6): 1219 – 1234.
- Ferreira, N.; Iglésias, M.; Noronha, F.; Pereira, E.; Ribeiro, A. & Ribeiro, M.L. (1987). Granitóides da Zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico, *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hesperico*, Editorial Rueda, Madrid, pp. 37-51.
- Fetter, C. W., (1994). *Applied Hydrogeology*. New Jersey: College Publishing Company.
- Fetter, C.W., (2001). *Applied Hidrogeology*. 4th Edition. Prentice Hall, New Jersey. 598 pp.

- Fetter, C. W. (2004). Hydrogeology: A short history, Part 1. *Ground Water*, 42(5), 790-792.
- Figueiredo, Elisabete (2001). O rural como reserva ambiental – o lugar do ambiente nas procuras externas das áreas rurais em Portugal. IV Colóquio Hispano-Português de Estudios Rurales, Santiago de Compostela, 7 – 8 Jun. Fitts, C. R., 2002. *Groundwater science*, 450 pp. Academic Press, London.
- Foster, S. S. D., & Chilton, P. J. (2003). Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 358(1440), 1957-1972. doi: 10.1098/rstb.2003.
- Fraústo da Silva, J. J.; Vaz, M. C. T. A., (1988). *Lições de Química-Física Hidrológica*. 139 pp. Instituto Português de Hidrologia.
- Freeze, R. A. & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*, Prentice Hall, New Jersey.
- Friedel, M. J., (2005). Coupled inverse modeling of vadose zone water, heat, and solute transport model: optimal nonlinear parameter estimation and predictive uncertainty. in: Tellman, J. H.; Rivett, M. O.; Israfilov, R., 2006. *Urban groundwater management and sustainability*. Nato science series. Series IV, Earth and environmental sciences. Springer Edt.
- Gaspar, J., Goulart, C., Queiroz, G., Silveira, D., & Gomes, A. (2004). Dynamic structure and data sets of a GIS database for geological risk analysis in the Azores volcanic islands. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4, pp. 233-242.
- González Vallejo, L. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación, Madrid. 744 pp.
- Gilli, E., Mangan, C., Mudry, J. (2012). *Hydrogeology Objectives, Methods, Applications*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Guo Q.; Wang Y., (2009). Trace Element Hydrochemistry Indicating Water Contamination in an Around the Yangbajing Geothermal Field, Tibet, China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83, 608-613.
- Hamblin, W. K & Christiansen, E. H., (1998). *Earth's Dynamic Systems*. 8th Edition. Prentice Hall, New Jersey. 674 pp.
- Hudak, P.F., (2001). *Principals of Hydrogeology*. CRC Press. LLC.
- DGT, Direção Geral do Território (2014). PT-TM06/ETRS89 - European Terrestrial Reference System 1989. Disponível em: http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/sistemas_de_referencia/portugal_continental/pt_tm06_etrs89___european_terrestrial_reference_system_1989_2/
- Instituto Geológico e Mineiro (2001). *Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro*.
- Kresic, N. (2007). *Hydrogeology and Groundwater Modelling*. 2nd. Edition. CRC Press (Taylor and Francis Group). 807 pp..
- Lee, J. Y. (2011). Environmental issues of groundwater in Korea: implications for sustainable use. *Environmental Conservation*, 38(1), 64-74.

- Li, R. P., & Merchant, J. W. (2013). Modeling vulnerability of groundwater to pollution under future scenarios of climate change and biofuels-related land use change: A case study in North Dakota, USA. *Science of the Total Environment*, 447, 32-45. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.011
- Lemos de Sousa, M.J. (1978). O grau de incarbonização ('rang') dos carvões durienses e as consequências genéticas, geológicas e estruturais que resultam do seu conhecimento. *Comunicações Serv. Geol. Portg. Lisboa*. vol. 63, pp. 179-365.
- Lencastre, A & Franco, F. M., (2003). *Lições de Hidrogeologia*. 3ª Edição. Fundação Armando Lencastre. 451pp.
- Lencastre, A.& Franco, F. M. (1984). *Lições de Hidrologia*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Loague, K., Bernknopf, R. L., Green, R. E., & Giambelluca, T. W. (1996). Uncertainty of groundwater vulnerability assessments for agricultural regions in Hawaii: Review. *Journal of Environmental Quality*, 25(3), 475-490.
- Lobo Ferreira, T. B. E. L., (1997). *Metodologia para a Reabilitação de Aquíferos Poluídos*. Tese de Doutoramento. Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa. 84pp.
- Marafuz, I. (2011). *Inundações Urbanas e Cheias Progressivas em Arouca, Casos de Estudo, Metodologias de Análise e Ordenamento do Território*. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. (Tese de Mestrado).
- Medeiros, A.C.; Pilar, L. & Fernandes, A.P. (1964). Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000, Notícia Explicativa da Folha nº 13-B. Castelo de Paiva. Serviços Geológicos de Portugal, 61 pp.
- Moore, J. E., (2002). *Field hydrogeology. A guide for site investigations and report preparation*. Lewis Publishers. 195 pp.
- Monterey, G (1997). *Castelo de Paiva Terras ao Léu*. Porto: Babel.
- Município & FLUP, (2012). *Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil de Arouca*
- NU (Nações Unidas), ONU, (2012). *Fatos sobre água e saneamento. Rio + 20, o futuro que queremos*. Departamento de Informação Pública das Nações Unidas. Rio de Janeiro, Brasil.
- Pinho, M, (1947). *Elementos para a História de Castelo de Paiva*. Castelo de Paiva: Câmara Municipal de Castelo de Paiva.
- Pinto de Jesus, A. (2001). "Génese e evolução da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal): um modelo", Universidade do Porto. 2 Volumes [Texto: 272 pp.; Atlas: 71 pp.]. (Tese de doutoramento).
- Price, M (1996). *Introducing groundwater*, 2nd Edition, Stanley Thornes (Publishers), LTD, Cheltenham.
- Pulido, J. L., (1978). *Hidrogeoquímica prática*, Bilbao: Ed. Urmo, SA. 314 pp.

- Rebelo, F.M.S. (1975). Serras de Valongo: estudo de geomorfologia, Suplementos de Biblos, Universidade de Coimbra, vol. 9, pp. 1-194. (Tese de doutoramento).
- Rebelo, F.M.S. (1984). Adaptações e inaptações às cristas quartzíticas do Noroeste Português. In: Livro de Homenagem a Orlando Ribeiro, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, vol. 1, pp. 321-331.
- Ribeiro, A.; Quesada, C. & Dallmeyer, R.D. (1990). Geodynamic evolution of the Iberian Massif". In: Dallmeyer, R.D. e Martínez-García, E., Eds., Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, pp. 397-410.
- Ribeiro, O.; Lautensach, H. & Daveau, S. (1987). Geografia de Portugal. Vol. I - A posição geográfica e o território, Edições João Sá da Costa. Lisboa, pp. 3-334.
- Rodrigues, A. P. (2009). Dispersão e contaminação por Pb, Zn e As, associadas à escombreira mineira de Terramonte (Castelo de Paiva – Portugal). Instituto de Ciência Biomédicas Abel Salazar. Universidade do Porto. (Tese de Mestrado)
- Rodrigues, J. D., (1984). Noções de Hidrogeologia. Geonovas, Lisboa. 7: 11-30.
- Rogers, W. J., (2003). Encyclopedia of Water Science. Marcel Dekker, Inc.
- Sanders, L. L., (1998). A manual of field hydrogeology Prentice Hall. New Jersey. 381 pp.
- Silva, M. (2009). Os Sistemas de Informação Geográfica aplicados à delimitação da Reserva Ecológica Nacional: Proposta de uma metodologia para a determinação de áreas potenciais de máxima infiltração. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. (Tese de Mestrado).
- Silva, S., (2003). Aspectos Hidrogeoambientais da Região de Valongo – Avaliação da Qualidade da Água (sector do Parque Paleozóico de Valongo, São Pedro da Cova).. Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. 239pp. (Tese de Mestrado).
- Struckmeier, W.; Rubin, Y. & Jones, J. A. A., (2005). Água Subterrânea – reservatório para um planeta com sede? Ciências da terra para a sociedade. Disponível em: www.yearofplanetearth.org.
- Stone, W. J., (1999). Hydrogeology in practice, a guide to characterizing ground-water systems. New Jersey: Prentice-Hall, 248 pp.
- Tempelhoff, J., Hoag H., Ertsen M., Arnold E., Bender M., Berry K., Fort C., Pietz D., Musemwa M., Nakawo M., Ur J., Dam P. v., Melosi M., Winiwarter V. & Wilkinson T. (2009). Where has the water come from?. Water History, 1: 1-8.

Endereços eletrónicos

<http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto#c3

<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/PT/GF1166PT.HTM> (Unesco Glossário Internacional de Hidrogeologia).

<http://www.horsleywitten.com/evergreen/mod-1-gw-mov-recharge.html>